Populäre Astronomie.

Von

Friedrich Theodor Schubert,

Mitgliede der Kayserl. und Königl. Akademien und Gesellschaften der Wissenschaften zu St. Petersburg, Stockholm, Kopenhagen und Upsala.

Dritter Theil.

Physische Astronomie.

St. Petersburg

Gedruckt bey der Kayserl. Akademie der Wissenschaften.

1810.

14

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Vorrede.

Ich übergebe hiemit dem Publikum den dritten und letzten Theil meiner populären Astronomie, also meinem Versprechen gemäß, fast mit dem zweyten Theil zugleich. Daß meine Amts-Geschäfte mir dies möglich gemacht haben, darüber kann ich mich nur dann freuen, wenn die Arbeit die Eile nicht verräth, womit sie gemacht ist. Ich bin mir wenigstens bewußt, daß ich nicht durch leichtere Behandlung, sondern durch verdoppelte Arbeit, die Zeit zu benutzen suchte, die mir so sparsam zugemessen war.

Noch immer bin ich überzeugt, daß ein solches Werk, nach dem Plan den ich in der Vorrede zum ersten Theil aus einander gesetzt habe, ausgeführt, nicht ohne Nutzen seyn würde. Ob mir diese Ausführung gelungen sey, muß das Urtheil der Kenner entscheiden. Die Astronomie, nicht als mathematische, sondern als philosophische Wissenschaft zu betrachten, und sie mit

unverwandter Hinsicht auf den heiligsten Zweck der Menschheit, Bildung des Geistes und Herzens, vor zu tragen, ist das wesentliche dieses Plans; aber freylich ist es nicht möglich, ohne alle Hülfe der Mathematik über Astronomie zu philosophiren. Zu große Strenge oder Gelindigkeit in der mathematischen Gründlichkeit, zu viel oder zu wenig Kalkül, würde einem solchen Werk in gleichem Grade nachtheilig seyn.

Wie wenig mir aber auch die Ausführung dieses Plans gelungen seyn mag, und wie geringes Verdienst dieses Werk haben mag, so macht Gerechtigkeit und Dankbarkeit es mir zur Pflicht, zu erklären, daß es mir unmöglich gewesen seyn würde, ohne höhere Unterstützung an die Herausgabe desselben zu denken. Der Druck dieses Werks geschah mit Genehmigung und auf Kosten des großen Beschützers der Wissenschaften, unter dessen milden und gerechtem Scepter zu leben ich für das gröste Glück meines Lebens halte.

St. Petersburg,
im Junius, 1810.

F. T. Schubert.

Inhalt.

Physische Astronomie.

Einleitung.

Erster Abschnitt.

Von der Einrichtung des Weltgebäudes.

I. Kapitel. Größe und Entfernung.

§. 1. Entfernung, scheinbare und wahre Größe. — §. 2. Formeln dafür. — §. 3. Berechnung der Entfernungen. — §. 4. Entfernung der Sonne von der Erde, — §. 5. und den übrigen Planeten. — §. 6. Entfernung der Planeten von der Erde, — §. 7. und des Monds von der Erde. — §. 8. Reduktion der scheinbaren Größe. — §. 9. Scheinbare Durchmesser der Planeten. — §. 10. Verhältniß zweyer Kugeln. — §. 11. Verhältniß der wahren Größen der Planeten. — §. 12. Ihre wahren Größen. — §. 13. Wie sie in der Sonne erscheinen. — §. 14. Wie die Sonne ihnen erscheint. — §. 15. Entfernung der Trabanten von ihrem Planeten. — §. 16. Ihre Größe.

II. Kapitel. Größe des Sonnen-Systems.

§. 17. Sinnliche Darstellung obiger Verhältnisse. — §. 18. Größe der Planeten und ihrer Bahnen. — §. 19. Scheinbare Größe der Planeten und der Sonne. — §. 20. Geschwindigkeit der Planeten und Kometen. — §. 21. Größe der Trabantenbahnen. — §. 22. Vergleichung der Planeten und Kometen. — §. 23. Zahl der beobachteten Kometen. — §. 24. Gleichförmige Vertheilung der Kometenbahnen. — §. 25. Vertheilung der Sonnennähen. — §. 26. Wahrscheinliche Anzahl der Kometen. — §. 27. Erparung des Raums. — §. 28. Warum die Planeten-Bahnen fast in derselben Ebne liegen. — §. 29. Größe des Sonnen-Systems.

III. Kapitel. Größe des Universums.

§. 30. Inhalt des Kapitels. — §. 31. Menge der einzeln vertheilten Sterne, — §. 32. und der Sterne in der Milchstraße. — §. 33. Nebelflecke. — §. 34. Nähere Betrachtung des Ganzen. — §. 35. Entwurf der Milchstraße auf die Sphäre. — §. 36. Gleichförmige Vertheilung der Sterne. — §. 37. Bestimmung der Entfernung der Sterne durch ihre Menge. — §. 38. Durchschnitt unsers Sternhaufens. — §. 39. Dessen wahre Gestalt. — §. 40. Zusammensetzung der Milchstraße aus mehreren Systemen. — §. 41. Die Nebelflecke sind entfernte Milchstraßen. — §. 42. Plan des Weltgebäudes. — §. 43. Größe des Universums.

IV. Kapitel. Topographie des Himmels.

§. 44. Inhalt des Kapitels. — §. 45. Rotation — §. 46. der Sonne, — §. 47. und des Monds. — §. 48. Schwanken des Monds. — §. 49. Rotation der Planeten, — §. 50. und der Trabanten. — §. 51. Aeußre Gestalt der Planeten. — §. 52. Ihre Verschiedenheit. — §. 53. Sonnenflecken. — §. 54. Ihre Erklärung. — §. 55. Physische Beschaffenheit der Sonne. Zodiakallicht. — §. 56. Aehnliche Bildung der Planeten. — §. 57. Topographie des Saturns und seines Ringes, — §. 58. des Ju-

piters und seiner Trabanten, — §. 59. der vier neuen Planeten, — §. 60. des Mars, — §. 61. der Venus, — §. 62. und des Merkurs. — §. 63. Selenotopographie. — §. 64. Bestimmung der Höhe der Berge. — §. 65. Mond-Berge, — §. 66. Ebnen, — §. 67. und Vertiefungen. — §. 68. Ob es Wasser auf dem Monde gebe? — §. 69. Atmosphäre des Monds. — §. 70. Revolutionen auf dem Monde. — §. 71. Vergleichung des Monds und der Erde. — §. 72. Natur der Kometen. — §. 73. Veränderliche Sterne. — §. 74. Nebelflecke, u. s. w.

Zweyter Abschnitt.

Von der Bewegung um einen Zentral-Körper.

I. Kapitel. Kräfte.

§. 75. Satz des zureichenden Grundes. — §. 76. Kräfte. — §. 77. Urkräfte. — §. 78. Richtung der Kräfte. — §. 79. Mittlere Kraft. Parallelogramm der Kräfte. — §. 80. Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte. — §. 81. Stärke der Kräfte. Geschwindigkeit. — §. 82. Ihr Maaß. — §. 83. Gesetz der Trägheit. — §. 84. Absolute, beschleunigende, und bewegende Kraft.

II. Kapitel. Zentral-Kräfte.

§. 85. Mechanische und physische Kräfte. — §. 86. Schwere. — §. 87. Zentral-Kräfte. — §. 88. Area der Dreyecke. — §. 89. Zentralkraft der Sonne. — §. 90. Zweytes Keplersches Gesetz. — §. 91. Verhältniß der Geschwindigkeiten.

III. Kapitel. Zentral-Kraft der Sonne.

§. 92. Beständige Kräfte. — §. 93. Veränderliche Kräfte. — §. 94. Lehnsätze. — §. 95. Fall der Planeten zur Sonne. — §. 96. Gesetz der Zentralkraft der Sonne. — §. 97. Wurfs-Geschwindigkeit — §. 98. bestimmt die verschiedenen Arten der Bahnen. — §. 99. Bestimmung der Bahn durch das Gesetz der Zentralkraft, — §. 100. und durch die Wurfs-Geschwindigkeit. — §. 101. Möglichkeit der verschiedenen Kegelschnitte. — §. 102. Nothwendigkeit des Gesetzes der Attraktion der Sonne. — §. 103. Vorzüge desselben. — §. 104. Vergleichung mit andern.

IV. Kapitel. Gegenseitige Attraktion.

§. 105. Allgemeine Attraktion. — §. 106. Beweise derselben. — §. 107. Reaktion der Aktion gleich. — §. 108. Attraktion der Masse proportional und allen Körpern gemein. — §. 109. Einfluß der Figur der Weltkörper auf die Attraktion. — §. 110. Schwerspunkt. — §. 111. Die Bahnen durch gegenseitige Attraktion — §. 112. sind den Keplerschen Gesetzen gemäß. — §. 113. Berichtigung des dritten Keplerschen Gesetzes. — §. 114. Relative Bahn der Planeten um die Sonne. — §. 115. Wahres Welt-System.

V. Kapitel. Allgemeine Gravitation.

§. 116. Attraktion der Erde auf den Mond ist mit der Schwere einerley. — §. 117. Beweis. — §. 118. Allgemeine Gravitation. — §. 119. Abwägung der Weltkörper. — §. 120. Formeln der Rechnung. — §. 121. Massen der Planeten, die Trabanten um sich haben, — §. 122. und der übrigen. — §. 123. Dichtigkeit der Planeten. — §. 124. Fall der Körper auf jedem Planeten. — §. 125. Berechnung aller dieser Größen. — §. 126. Folgerungen daraus. — §. 127. Absolute Einheit dieser Größen. — §. 128. Masse und Dichtigkeit in absoluten Zahlen. — §. 129.

Meinungen der Alten von der allgemeinen Schwere. — §. 130. Bemerkungen über die allgemeine Gravitation.

Dritter Abschnitt.

Von den gegenseitigen Störungen der Weltkörper.

I. Kapitel. Das Problem der drey Körper.

§. 131. Allgemeine Betrachtungen. — §. 132. Ursache der Störungen. — §. 133. Ihre unbedeutende Größe — §. 134. Berechnung derselben. Problem der drey Körper. — §. 135. Ihre Eintheilung.

II. Kapitel. Die Monds-Theorie.

§. 136. Uebersicht der Perturbations-Rechnungen. — §. 137. Bewegung des Monds um die Erde und Sonne. — §. 138. Kräfte die auf den Mond wirken. — §. 139. Gleichung der stündlichen Bewegung des Monds. — §. 140. Aendrung der Zentralkraft der Erde — §. 141. ist im ganzen eine Vermindrung derselben. — §. 142. Gleichung der Parallaxe. — §. 143. Evektion. — §. 144. Variation. — §. 145. Jährliche Gleichung. — §. 146. Bewegung der Knoten. — §. 147. Aendrung der Neigung. — §. 148. Bewegung der Apsidenlinie. — §. 149. Inhalt des folgenden Kapitels.

III. Kapitel. Perturbation der Planeten.

§. 150. Einleitung. — §. 151. Aendrung der Knoten und Neigung. — §. 152. Reduktion auf die Ekliptik. — §. 153. Anwendung auf die Planeten. — §. 154. Scheinbare Aendrung der

Knoten und Neigung. — §. 155. Verrückung der Erdbahn. — §. 156. Aendrung der Schiefe der Ekliptik, — §. 157. und der Aequinoktialpunkte. — §. 158. Aendrung der Länge und Breite der Sterne. — §. 159. Sekular-Gleichung der Apsiden und Exzentrizität. — §. 160. Aendrungen der Bahnen Saturns und Jupiters, — §. 161. und der übrigen Planeten. — §. 162. Sekular-Gleichung der mittlern Bewegung, — §. 163. besonders des Mondes, — §. 164. und des Saturns und Jupiters.

Vierter Abschnitt.

Von der Rotation der Weltkörper.

I. Kapitel. Figur der Weltkörper.

§. 165. Einleitung. — §. 166. Sphärische Gestalt der Weltkörper. — §. 167. Ihre Bildung. — §. 168. Schwungkraft — §. 169. unter verschiedenen Breiten. — §. 170. Abplattung der Erde, — §. 171. und der übrigen Planeten.

II. Kapitel. Freye Rotation der Weltkörper.

§. 172. Einleitung. — §. 173. Unterschied der progressiven und rotirenden Bewegung. — §. 174. Kräfte, die beyde hervorbringen. — §. 175. Gleichförmige Rotation. — §. 176. Freye Aren. — §. 177. Freye Rotation der Weltkörper. — §. 178. Stoß der den Weltkörpern ihre Bewegung gab. — §. 179. Dessen Richtung bey jedem Planeten. — §. 180. Mittelpunkt des Schwunges. — §. 181. Ursprung der Bewegung der Erde.

III. Kapitel. Störung der Rotation.

§. 182. Verschiedene Ursachen der Störung. — §. 183. Wirkungen des Monds und der Sonne auf die abgeplattete Erde. —

§. 184. Periode dieser Störungen. — §. 185. Präzession und Nutation. — §. 186. Masse des Monds. — §. 187. Folgerungen. — §. 188. Figur des Monds. — §. 189. Schwanken des Mond.s — §. 190. Perturbationen die aus der Abplattung entstehen.

IV. Kapitel. Ebbe und Flut.

§. 191. Einleitung. — §. 192. Umständliche Beschreibung der Ebbe und Flut. — §. 193. Sie ist eine Wirkung der Sonne nnd des Monds. — §. 194. 195. Ihre allgemeine Erklärung. — §. 196. Zusammengesetzte Wirkung der Sonne und des Monds. — §. 197. Umständliche Erklärung der Ebbe und Flut. — §. 198. Beständige Winde. — §. 199. Witterung. — §. 200. Aerolithen.

V. Kapitel. Allgemeine Betrachtungen.

§. 201. Rekapitulation. — §. 202. Künftige Untersuchungen. — §. 203. Großes Räthsel. — §. 204. Ursprung der Kometen, — §. 205. der Planeten, — §. 206. der Trabanten, des Ringes und der Atmosphäre. — §. 207. Nutzen der Sternkunde. — §. 208. Dauerhafter Zustand des Universums. — §. 209. Widerstand des Aethers. — §. 210. Sekular-Gleichungen. — §. 211. Störung durch einen Kometen. — §. 212. Beschluß.

Ende des dritten und lezten Theils.

Physische Astronomie.

Einleitung.

Wenn alle Epochen der Weltgeschichte, wenn jedes Jahrhundert und jedes Volk nach den Erfindungen gewürdigt werden solten, womit sie den Schatz menschlicher Kenntnisse bereichert haben, so könnten die Europäer der letzten zwey Jahrhunderte mit ruhigem Stolz alle andern Ansprüche aufgeben: vor dem Glanz der physischen Astronomie würden alle Generationen beschämt zurück treten, und sie allein ist hinlänglich, den so oft und mit so vieler Hitze geführten Streit, über die Vorzüge der Alten und Neuern in Künsten und Wissenschaften, zum Vortheil der letztern zu entscheiden. Man müste mit den Alten ganz unbekannt seyn, wenn man nicht wenigstens sein Urtheil zurück hielte, ob Racine und Moliere oder Euripides und Terenz, ob der Sänger der Henriade oder der Iliade den Vorzug verdiene, ob Demosthenes und Cicero von irgend einem neuern Redner und Prosaiker übertroffen sey, ob Büffon und Linnee tiefer in die Natur gedrungen sey als Aristoteles und Plinius, ob Hippokrat's Fleiß und umfassende Kenntnisse je übertroffen sind, ob irgend ein Künstler unsrer Zeiten die Natur treuer nachgeahmt, die Leidenschaften stärker ausgedrückt, und edlere Ideale entworfen habe, als Phidias oder Parrhasius. Aristotelis Organon und Plato's Dialogen, Thucydides und Tacitus, Justinians Arbeiten, werden den Philosophen, Geschichtschreibern und Gesetzgebern aller Zeitalter zum Muster dienen; die Säule Trajans und die Ruinen des Koliseums sind noch jetzt ein Gegenstand der Bewundrung; und der gröste Feldherr der neusten Zeiten erkennt in seinen Schriften Julius Cäsar

für seinen Meister. Und dennoch hatten die Neuern jene Muster vor sich, sie ahmten sie nach ohne sie immer zu verschönern, sie traten in ihre Fußstapfen ohne sie immer einzuholen. Selbst in der Mathematik, worin es die Neuern unstreitig am weitsten gebracht haben, ist Euklid's Gründlichkeit und Archimed's Genie vielleicht nie übertroffen worden: wir haben das Gewebe, das jene angefangen hatten, fort gesponnen, und alle unsre Erfindungen, die Rechnung des Unendlichen nicht ausgenommen, bestehn grösstentheils in Erleichtrung der Methoden, wodurch die Alten mit größrer Schwierigkeit, aber gewiß nicht mit weniger Scharfsinn, zu denselben Resultaten zu gelangen suchten.

Allein die physische Astronomie, diese erhabenste aller Wissenschaften, ist so sehr das ausschließliche Eigenthum der Neuern, daß die Alten nicht einmal ihr Daseyn ahnten: nicht bloß die Ehre der Erfindung, sondern der ersten Idee daß eine solche Wissenschaft möglich sey, gebührt den Europäern des siebzehnten Jahrhunderts, und ist eine Trophee der das Alterthum nichts entgegen zu setzen hat. — Mehr als 1000 Jahre hatten die Bewohner des Orients den Himmel beobachtet, ohne weiter als bis zur sphärischen Astronomie gekommen zu seyn. Zufrieden, die Perioden der Weltkörper mit jedem Jahrhundert genauer zu berichtigen, dachten sie nicht daran, ihr Fortrücken an der Sphäre von ihrer wahren Bewegung zu unterscheiden. Die philosophischen Griechen fühlten zuerst das Bedürfniß, die wahren Bahnen selbst, von denen die Sphäre uns nur ein verzerrtes Bild zeigt, geometrisch zu untersuchen, die Entfernungen der Weltkörper von einander zu berechnen, und die Gesetze ihrer Bewegung zu bestimmen. So entstand eine Art von theorischer Astronomie, die aber freylich auf Vorurtheilen und unvollkommenen Beobachtungen gegründet, ein Gewebe von Irthümern war. Zweytausend Jahre blieb man hiebey stehn, ohne die Nothwendigkeit oder auch nur die Möglichkeit zu fühlen, diese Bewegun-

gen physisch zu erklären. Wie wäre es auch möglich gewesen, Bewegungen die nur in der Fantasie der griechischen Geometer existirten, und deren wirkliches Daseyn nicht denkbar war, aus den ewigen nothwendigen Gesetzen der Natur her zu leiten? Irrthümer auf Wahrheit zu gründen, aus richtigen Vordersätzen falsche Schlußfolgen zu ziehn, ist nur zu leicht, und alle Wissenschaften geben Beyspiele davon, deren wir uns eben nicht zu rühmen haben; aber umgekehrt, aus falschen Datis die Wahrheit herzuleiten, die wahre wirkende Ursache aus chimärischen widersprechenden Wirkungen zu entziffern, ist unmöglich: eine unrichtige theorische Astronomie konnte also keiner physischen das Daseyn geben. Es läst sich schwerlich anders erklären, daß der sonst so mächtige Trieb unsrer Sele, von allem was wir sehn den Grund zu erforschen, von jeder Wirkung die physische Ursache ausfindig zu machen, Jahrtausende bey einem so großen Gegenstande unthätig gewesen ist, als durch das Gefühl der Unmöglichkeit, dasjenige zu erklären, wovon man eine leise Ahnung hatte, daß es zwar als geometrische Hypothese gute Dienste thun, aber nicht in der Natur wirklich existiren könne. So bald aber Kopernik und Kepler die wahren Bewegungen entdeckt hatten, so erwachte jener allmächtige Trieb aus seinem langen Schlummer mit verdoppelter Kraft: unwiderstehlich fühlte man das Bedürfniß, die Bewegungen der Weltkörper physisch zu erklären, so wie sie geometrisch bewiesen waren; und dasselbe Jahrhundert, das die theorische Astronomie zur Reife gebracht hatte, gab auch der physischen das Daseyn. Zweyen der grösten Genies die vielleicht je gelebt haben, Keplern dem Deutschen und Newton dem Britten, verdankt man diese beyden Wissenschaften, die so genau zusammen hängen, daß die letztre eine nothwendige Folge aus der erstern ist. Unzähligemal wird Kepler, mitten in seinen geometrischen Untersuchungen, zur Anschauung jener allmächtigen Kraft hingerissen, die seit Jahrtausenden unsichtbar und unerkannt die Welt regiert. Er so

wol als seine Zeitgenossen, und die ihm unmittelbar folgten, lehren deutlich an mehreren Stellen, wovon die Leser in der Folge die wichtigsten finden werden, den vornehmsten Grundsatz der ganzen physischen Astronomie, als eine Wahrheit, ohne welche sich die Bewegungen der Weltkörper auf keine Art erklären lassen. Aber Newton war der erste, der nicht allein mathematisch bewieß, was man vor ihm nur geahnet hatte, sondern nun aus dieser einen Wahrheit, mit geometrischer Strenge, bis auf die kleinsten Umstände, alle die unzähligen Bewegungen erklärte, aus denen das wahre Weltsystem in seiner ganzen Ausdehnung zusammen gesetzt ist. Die ganze Natur öffnete sich ihm nun gleich einem in unbekannter Chiffre geschriebenen Buche, wovon er den Schlüssel gefunden hatte: seinem nie übertroffenen Scharfsinn entgieng keine Folge, die sich aus den von ihm bewiesenen Wahrheiten ziehen ließ; aus der Sonne verbreitete sich unter seiner Leitung, die von ihm entdeckte Kraft über Planeten, Kometen, und Trabanten, und ward endlich eine allgemeine Eigenschaft jeder Materie; vom Himmel leitete er die heilige Flamme auf die Erde herab, und er ward der Schöpfer einer neuen Physik wie einer neuen Astronomie, die nicht mehr auf bloßen Beobachtungen sondern auf den ewigen Gesetzen der Natur gegründet ist, und in der jede Bewegung, jedes Phänomen, selbst jede scheinbare Abweichung oder Verwirrung, bis ins kleinste Detail, aus einem einzigen Grundsatz nicht bloß physisch erklärt, sondern als eine nothwendige Folge hergeleitet wird.

Zu diesen großen Entdeckungen gelangte Newton auf folgendem Wege. Aus dem zweyten Keplerschen Gesetze bewies er das Daseyn der Zentralkraft der Sonne, einer Kraft die alle Planeten in jedem Punkt ihrer Bahn nach dem Mittelpunkt der Sonne treibt. — Die elliptische Figur ihrer Bahnen, oder das erste Keplersche Gesetz, zeigte ihm das Gesetz wie diese Kraft wirkt, oder das Verhältniß nach dem

sie in verschiedenen Entfernungen abnimt. — Aus dem dritten Keplerschen Gesetz, welches alle Bahnen umschlingt und zu einem Ganzen verbindet, folgte, daß die Zentralkraft der Sonne sich nach demselben Verhältnisse bis zu den äußersten Planeten, ja bis zu den weit entfernteren Kometen ausdehnt, weil auch diese in ihren Bahnen um die Sonne jenem Gesetze folgen. — Der nächste Schritt den Newton that, war, diese Kraft von der Sonne auf die Planeten über zu tragen. Die Trabanten, die nach den Keplerschen Gesetzen um die Erde, den Jupiter und Saturn laufen, bewiesen, daß jene Kraft nicht der Sonne eigenthümlich sey, sondern diesen Planeten ebenfalls zukomme, und nach eben den Gesetzen wirke: es war natürlich, sie auch auf die übrigen Planeten aus zu dehnen; und der einfache physische Grundsatz, daß bey jeder Wirkung ein Widerstand statt finde, der der Wirkung selbst gleich seyn müsse, daß also die Sonne keinen Planeten an sich ziehen könne, ohne von ihm mit gleicher Kraft angezogen zu werden, gab das wichtige Resultat, daß die Attraktion eine allgemeine Eigenschaft aller Körper unsers Sonnensystems sey. — Allein nun ging Newton noch einen großen Schritt weiter, indem er die Astronomie auf die Physik anwandte. Aus den Grundsätzen der Mechanik zeigte er, daß jene Kraft ihren Sitz nicht etwa bloß im Mittelpunkt jedes Weltkörpers habe, sondern das Resultat aller Attraktionen sey, die jedes einzelne Theilchen seiner Masse äußert, daß sie also eine allgemeine Eigenschaft aller Materie sey. Die Attraktion des Planeten den wir bewohnen, zeigt sich uns auf seiner Oberfläche selbst durch die unzähligen Wirkungen der Schwere, und in sehr großer Entfernung durch die elliptische Bahn des Monds um die Erde: beyde Phänomene sind, wie Newton durch eine leichte Rechnung fand, Wirkungen einer und derselben Kraft, die von der Oberfläche der Erde bis zur Entfernung des Monds, nach jenem allgemeinen Verhältniß, welches auch im Sonnensystem statt findet, abgenommen hat; und

die Kraft die den Mond um die Erde führt, die den Planeten und Kometen ihre Bahnen um die Sonne vorschreibt, ist nichts anders als die allgemeine Eigenschaft aller Materie, das allmächtige Triebrad welches Sonnen und Sonnenstäubchen belebt, und das Weltall zu einem Ganzen verbindet: sie wirkt nach einem allgemeinen Gesetz an den äußersten Gränzen des Weltraumes, und auf der Erde wo wir sie die Schwere nennen. Sie treibt den Mond nicht bloß zur Erde sondern auch zur Sonne, die Erde und alle übrigen Planeten nicht allein zur Sonne sondern nach jedem andern Planeten; die Erde zieht nicht allein den Mond, sondern wird auch von ihm angezogen; selbst der Zentralkörper unsers Systems, die Sonne, wird durch die vereinten Wirkungen der Planeten aus ihrer Stelle gebracht. — Diese Betrachtungen führten Newton zur vollständigen Erklärung aller der längst bemerkten, aber bis jetzt für unerklärlich gehaltenen Anomalien und Verrückungen. Die größern und kleinern Gleichungen des Monds sind Wirkungen der anziehenden Kraft der Sonne, und hängen eben deswegen, wie wir gesehn haben, alle von seiner Stellung gegen die Sonne ab; die Abweichungen der Planeten von der elliptischen Bewegung sind die von der Anziehung der übrigen Planeten hervor gebrachten Störungen; das Vorrücken der Nachtgleichen, die Aendrung der Schiefe der Ekliptik, die Nutation, und alle die scheinbaren Bewegungen der Fixsterne, sind nichts anders als Verrückungen der Erde oder ihrer Bahn, die aus den Wirkungen des Monds oder der Planeten entstehn; das Steigen und Sinken des Ozeans durch Ebbe und Flut ist eine natürliche Folge der vereinigten Attraktion von Mond und Sonne. Selbst auf jenen feinen fast unkörperlichen Stoff, der selbst unsichtbar, alles sichtbar macht, wandte Newton diese Theorie an, und erklärte daraus die Brechung, Zurückwerfung, Beugung, und viele andre Eigenschaften des Lichts. — Eine andre Anwendung auf die Physik des Universums, die, so einfach und na-

thrlich sie ist, den Layen gewöhnlich am unbegreiflichsten scheint, war folgende. Da die Attraktion eine wesentliche Eigenschaft aller Materie ist, so daß die Kraft womit ein Weltkörper andre anzieht, das Resultat aller einzelnen Attraktionen jedes Theilchens seiner Masse ist, so muß man umgekehrt aus den verschiedenen Wirkungen der Weltkörper auf einander, die uns die astronomischen Beobachtungen zeigen, das Verhältniß ihrer Massen herleiten, oder ihre Gewichte mit einander vergleichen können; und die Abwägung der Sonne, der Erde, und der Planeten, die Vergleichung der Dichtigkeit ihrer Massen, die Bestimmung des Raums durch den die Körper auf ihrer Oberfläche in einer Sekunde fallen, war eine der leichtsten Folgen die Newton aus seiner Theorie zog.

So ungefähr entwickelte sich aus Newtons erhabenem Genie das schöne Gebäude der physischen Astronomie, und das fruchtbare System der allgemeinen Gravitation, wie Minerva aus dem Haupte Jupiters entsprang. Dem Himmel entwandt, erleuchtete das Feuer der Wahrheit den Erdkreis, und mit Schild und Lanze der Geometrie bewafnet, trat sie siegreich über den Trümmern verjährter Vorurtheile einher. Ein neuer schönerer Tempel ward Uranien errichtet, und alle Astronomen, wenigstens in England und Deutschland, huldigten der neuen Lehre, die nur in Frankreich erst spät Eingang fand, dafür aber auch zuletzt in diesem Lande zur höchsten Vollkommenheit gebracht ist. Seit mehr als 100 Jahren hat Newtons Theorie die grösten Geometer und Astronomen beschäftigt, man hat neue Anwendungen von ihr gemacht, ist in ein größeres Detail gegangen; und dem Bestreben, die ungeheuren Rechnungen zu erleichtern, und die verwickeltsten Probleme der Sternkunde vermittelst jener Theorie auf zu lösen, verdankt die mathematische Analyse die großen Erfindungen unsrer Zeit, so wie die Sternkunde durch sie eine genaue

Theorie von den Bahnen des Monds und der Planeten erhalten hat.

Die kurze Zeichnung, die wir hier von dieser erhabensten aller menschlichen Erfindungen entworfen haben, gibt nur ein sehr unvollständiges Bild von den einzelnen Gliedern, aus denen sie zusammen gesetzt ist. Um die Schönheit des Ganzen zu übersehn, um das vollkommene Verhältniß und den genauen Zusammenhang aller Theile zu bemerken, um von dem Glanze der Wahrheit, der das Ganze umstralt, durchdrungen zu werden, um endlich mit dem ersten Erfinder das unbeschreibliche Vergnügen einigermassen zu theilen, bis ins innerste Heiligthum der Natur gedrungen zu seyn, die geheime Triebfeder wodurch das Weltall bewegt und zusammen gehalten wird, die unsichtbaren Kräfte durch welche der Allmächtige den Plan seiner unendlichen Weisheit zur Ausführung gebracht hat, entdeckt, und endlich die Auflösung des Räthsels gefunden zu haben, welches die Weisesten aller Zeitalter seit Jahrtausenden beschäftigt hatte, muß man die Mühe nicht scheuen, die Karaktere zu erlernen, in denen das Räthsel so wol als seine Auflösung geschrieben ist, alle Zweige der Geometrie gründlich zu studiren, und sich durch den ganzen Dornenpfad mathematischer Rechnungen Newtons oder seiner Kommentatoren zu schlingen. In diesen Tempel, wie in Plato's Lehrsaal, kann nur die Geometrie den Eingang öffnen (*), und hier ist es weniger als irgendwo möglich, beyde Wissenschaften von einander zu trennen. Selbst die Resultate der physischen Astronomie lassen sich nicht begreiflich machen, ohne wenigstens einige mathematische Kenntniß voraus zu setzen; und indem der Verfasser dieses Werks ganz die Schwierigkeit fühlt, seinen Lesern die Rosen zu reichen, ohne sie mit ihren Dornen zu stechen, schmeichelt er sich, daß eben

---

*) ἀδεὶς ἀγεωμέτρητος εἰσίτω!

diese Dornenstiche, mit dem Wohlgeruch der Blume verbunden, manchem seiner Leser Geschmack an dem Studium der Geometrie geben, und ihn in dieser erhabenen Wissenschaft einen Trost finden lassen werde, dessen der edlere Theil der Menschen nie mehr bedurfte, als zu unsrer Zeit. Doch wird der Verfasser sich bemühen, so viel es in seinen Kräften steht, wenigstens die Resultate auf eine faßliche Art vor zu tragen, und ihnen die Dornen mathematischer Rechnungen ab zu streifen, ohne ihnen jedoch etwas von ihrer Schönheit zu rauben.

Ehr indeß die Bewegungen der Weltkörper physisch erklärt werden, wird es nöthig seyn, einen Rückblick auf die Resultate der theorischen Astronomie zu werfen, die einzelnen Materialien zu sammeln, um eine richtige Vorstellung von der Größe und Einrichtung des Ganzen zu haben, und die physische Beschaffenheit der Weltkörper, nach Anleitung der neusten mit den vollkommensten Fernröhren gemachten Entdeckungen, zu untersuchen, die besonders durch H. Herschels und Schröters Bemühungen jetzt einen wichtigen Gegenstand der physischen Astronomie ausmachen, von dem man vorher wenig oder nichts wuste.

Erster Abschnitt.

Von der Einrichtung des Weltgebäudes.

Erstes Kapitel.

Größe und Entfernung.

Entfernung, scheinbare und wahre Größe.

§. 1. Der Zweck der physischen Astronomie ist die Entdeckung der Kräfte, durch welche jene wahren Bewegungen am Himmel hervor gebracht werden, die die theorische Astronomie durch Beobachtungen bewiesen hat, und wodurch die scheinbaren Bewegungen der sphärischen dargestellt werden. Sie zeigt a priori die physische oder mechanische Nothwendigkeit von dem, was die theorische astronomisch oder geometrisch a posteriori bewiesen hat, und erklärt pragmatisch die Thatsachen, welche diese dokumentirt hat. Sie gebraucht die Wagschale, diese den Zirkel, jene wägt die intensiven Größen ab, diese mißt die extensiven. Allein die Masse und Schwere der Weltkörper läst sich nicht bestimmen, ohne ihre Entfernung und Größe zu kennen. Die Methoden, wodurch diese gefunden werden, sind in der theorischen Astronomie umständlich entwickelt, und wir dürfen hier nur die Resultate davon zu einem Ganzen sammeln.

Das einzige was sich unmittelbar beobachten läst, ist der Ort den ein Weltkörper an der Sphäre einnimt, und seine scheinbare Größe: erstrer wird durch die gerade Linie OB

T. 1. Fig. (1. Fig.) bestimmt, die aus unserm Auge O nach dem Welt-

körper B geführt iſt, letztre iſt der optiſche Winkel AOB, unter dem ſich zwey Geſichtslinien OA, OB, durchſchneiden, die den Weltkörper in entgegen geſetzten Punkten berühren, oder unter dem uns ſein Durchmeſſer erſcheint. Dieſer Winkel wird entweder durch die Zeit gemeſſen, die der Durchmeſſer AB gebraucht durch den Meridian zu gehn, durch welchen in jeder Sekunde 15″ gehn (Sph. §. 105.), oder vermittelſt der zur Meſſung ſehr kleiner Winkel beſonders eingerichteten Mikrometer (Sph. §. 46.).

Die Entfernung OB läſt ſich nicht unmittelbar meſſen, ſondern muß aus der Lage berechnet werden, die der Planet, wenn er aus verſchiedenen Standpunkten beobachtet wird, einnimt, d. i. aus ſeiner Parallaxe. Wir ändern unſern Standpunkt auf zweyerley Art, durch die tägliche Bewegung die uns in 12 Stunden von einer Seite der Erdfläche a zur andern b bringt, und durch die jährliche die uns in 6 Monaten durch entgegen geſetzte Punkte der Erdbahn OP führt: im erſtern Fall iſt die Standlinie, aus der wir den Planeten beobachten, und die zur Baſis der Berechnung ſeiner Entfernung dient, der Durchmeſſer der Erdkugel, im letztern der Durchmeſſer der Erdbahn; jene gibt die tägliche, dieſe die jährliche Parallaxe. Je grösser die Baſis iſt, deſto genauer muß ihr Reſultat, die Parallaxe, ſeyn. Kepler beſtimmte zuerſt die Entfernung des Mars, indem er ihn in demſelben Punkt B ſeiner Bahn, aus verſchiedenen Punkten der Erdbahn, O, P, beobachtete. Auf die nämliche Art ſind die Entfernungen der übrigen Planeten beſtimmt; und in der That iſt der Erd-Halbmeſſer eine ſo kleine Baſis im Verhältniß der Entfernung der Planeten, daß es ohne die Durchgänge der Venus unmöglich geweſen ſeyn würde, ihre Parallaxe dadurch genau zu beſtimmen. Dieſen Phänomenen allein verdanken wir die genaue Kenntniß, die wir endlich von der Sonnen-Parallaxe erhalten haben; und der Grund iſt leicht ein zu ſehen, warum man zu ihrer Beſtimmung nicht vie-

mehr die größere Basis, den Halbmesser der Erdbahn, als die kleinere, den Erd-Halbmesser, gebraucht hat. Die Parallaxe gibt uns, wie oben ausführlich gezeigt ist, das Verhältniß der Entfernung der Planeten zur gebrauchten Basis: das würde also in diesem Falle das Verhältniß der Entfernung der Sonne von der Erde **B O** zum Halbmesser der Erdbahn **B O** seyn; wir würden lernen, was wir ohnedem wissen, daß diese Größe sich selbst gleich ist. Man sieht also, daß die jährliche Parallaxe sich nur bey den Planeten, nicht aber bey der Sonne anwenden läst, wo die tägliche allein zu gebrauchen ist.

Formeln dafür.

§. 2. So bald nun die Parallaxe eines Planeten bestimmt, und daraus seine Entfernung von der Erde **O B** hergeleitet ist, darf man nur seinen scheinbaren Durchmesser **A O B** messen, um die wahre Größe **A B** zu kennen. Im gleichschenklichten Dreyeck **AOB** sind nämlich, außer dem Winkel **A O B**, die Seiten **O A**, **O B**, bekannt, woraus die dritte **A B** auf die gewöhnliche Art berechnet wird. Zieht man die Linie **O C** nach dem Mittelpunkt des Planeten, so hat man die bey **A** und **B** rechtwinklichten Dreyecke **OAC**, **OBC**, weil **O A**, **O B**, die Planeten-Kugel berühren (Th. §. 25. n. 7.), in welchen die Hypothenuse **O C**, als die Entfernung des Planeten von der Erde, und der Winkel **A O C**, oder sein scheinbarer Halbmesser, bekannt ist; und hieraus berechnet man den gegenüber stehenden Katheten, oder den wahren Halbmesser **C A = C O**. sin **A O C** (Th. §. 25. n. 6. 3)). Nennt man also die Entfernung eines Planeten von der Erde $= r$, seinen scheinbaren Halbmesser $= \varrho$, den wahren $= c$, so ist $c = r . \sin \varrho$, und die Entfernung r wird in Theilen des Erd-Halbmessers a aus der Horizontal-Parallaxe H durch die Formel $r = \frac{a}{\sin H}$ gefunden (Th. §. 35.).

Berechnung der Entfernungen.

§. 3. Die Berechnung der Entfernung der Planeten von der Sonne wird durch das dritte Keplersche Gesetz (Th. §. 140.) sehr erleichtert. Da nämlich die Umlaufszeiten der

Planeten durch 2000 jährige Beobachtungen aufs genaueste bekannt waren, und überhaupt mit wenigen Schwierigkeiten gefunden werden, so kann man durch dieses Gesetz die Entfernung aller Planeten, genauer als es je durch Messungen möglich seyn würde, berechnen, so bald nur eine einzige bekannt ist: und hiezu dient die Entfernung der Sonne, oder der Halbmesser der Erdbahn. Auf diese Art sind die mittlern Entfernungen aller Planeten von der Sonne, die man im zweyten Theile (§. 147.) findet, im Verhältniß zum Halbmesser der Erdbahn berechnet, der dabey = 1 angenommen ist. So bald also dieser Halbmesser durch die Sonnen-Parallaxe in Erd-Halbmessern, folglich vermittelst der Grad-Messung in Meilen oder jedem andern bekannten Maaße gefunden ist, so darf man damit nur die Zahlen, die jene Tafel enthält, multipliziren, um die mittlere Entfernung jedes Planeten von der Sonne in eben dem Maaße aus zu drücken.

Die Ekzentrizität jeder Bahn gibt den Unterschied der grösten und kleinsten Entfernung von der mittlern: daher man auch diese in jedem Maaße ausdrücken kann.

§. 4. Die Basis aller Messungen ist also der Erd-Halbmesser, und dieser wird auf die Astronomie angewandt, oder mit den übrigen Weltkörpern in Verbindung gesetzt, vermittelst der Sonnen-Parallaxe, die wir aus dem letzten Durchgange der Venus mit großer Genauigkeit kennen. Setzt man nun die mittlere Sonnen-Parallaxe = 8″,8 (Th. §. 223.) statt H (§. 2.), und statt a den Erd-Halbmesser von $859\frac{2}{3}$ geographischen Meilen, deren 15 auf 1 Grad gehn, und deren jede 7 Werst enthält (Th. §. 53.), so wird $\sin H = 0{,}0000426636$. Wenn man durch diesen Bruch $859\frac{2}{3}$ oder 859,4 dividirt, so erhält man (§. 2.) $r = 20'143635$, oder der Halbmesser der Erdbahn, die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne ist $20\frac{1}{7}$ Millionen Meilen oder 141 Millionen Werst. — Die Ekzentrizität der Erdbahn ist 0,01685318 (Th. §. 147.), d. h. der Unterschied der grösten

Entfernung der Sonne von der Erde,

und kleinsten Entfernung von der mittlern verhält sich zu dieser, die = 20′143635 Meilen ist, wie 0,01685318 zu 1. Dieser Unterschied findet sich also durch die Regel de Tri = 339484 Meilen, und gibt, wenn er von 20′143635 abgezogen und dazu addirt wird, die kleinste und gröste Entfernung der Erde von der Sonne, nämlich 19′804151 und 20′483119 Meilen, so daß uns die Sonne am 1 Januar um 678968 Meilen näher ist als am 1 Julius, welches den 30sten Theil der ganzen Entfernung beträgt.

und der übrigen Planeten.

§. 5. Wie hieraus die Entfernung der übrigen Planeten nach §. 3. berechnet werde, läst sich am deutlichsten durch ein Beyspiel zeigen, wozu wir den fernsten und den nächsten Planeten nehmen wollen. Uranus ist 19,183305 mal so entfernt von der Sonne als die Erde (Th. §. 147.): multiplizirt man also diese Zahl mit 20′143635, so erhält man die mittlere Entfernung des Uranus von der Sonne = 386′421494. Die Ekzentrizität seiner Bahn ist 0,0466703 welches mit 386′421494 multiplizirt 18′034407 gibt. Dies von 386′421494 subtrahirt und dazu addirt, gibt die kleinste und gröste Entfernung des Uranus von der Sonne 368′387087 und 404′455901. — Die mittlere Entfernung Merkurs von der Sonne ist 0,3870981 (Th. §. 147.), welches mit 20′143635 multiplizirt, 7′797563 Meilen gibt. Die Ekzentrizität = 0,20551494 mit 7′797563 multiplizirt gibt 1′602516, so daß die kleinste und gröste Entfernung von der Sonne 6′195047 und 9′400079 Meilen beträgt.

Auf eben die Art sind die mittleren, kleinsten und grösten Entfernungen der übrigen Planeten von der Sonne berechnet.

Entfernungen von der Sonne in geographischen Meilen

	Kleinste	Mittlere	Grösste
☉	368′387087	386′421494	404′455901
♄	181′353024	192′145511	202′937998
♃	99′753878	104′803125	109′852372
♂	51′365423	55′741910	60′118397
♁	41′996748	55′706074	69′415400
☽	40′014558	53′743430	67′472302
☐	43′353392	47′537448	51′721504
♂	27′834190	30′692726	33′551262
♀	19′804151	20′143635	20′483119
☿	14′470690	14′570542	14′670394
	6′195047	7′797563	9′400079

Entfernung der Planeten von der Erde.

§. 6. Wenn ein obrer Planet mit der Sonne in Opposition ist, so steht die Erde in gerader Linie zwischen ihm und der Sonne: er ist also um den Halbmesser der Erdbahn der Erde näher als der Sonne; und um eben so viel ist er in der Konjunktion weiter von uns als von der Sonne. Ein untrer Planet befindet sich in der untern Konjunktion zwischen der Erde und der Sonne, in der obern aber jenseits der Sonne: im erstern Fall ist er uns um den Halbmesser seiner Bahn näher als die Sonne, im letztern um eben so viel weiter. Im ganzen also hängt die Entfernung jedes Planeten von der Erde von seiner Stellung gegen die Sonne, d. h. von seinem synodischen Umlauf ab, und er ist uns desto näher je mehr er sich seiner ☌ oder untern ☌ nähert, desto entfernter je näher er seiner obern ☌ kömmt. Außerdem aber hängt sie auch, wegen seiner nicht kreisrunden sondern elliptischen Bahn, von seiner Entfernung von der Sonne selbst ab, also von seiner Lage gegen die Apsiden oder seinem anomalistischen Umlauf. Wenn z. B. ☉ in ☌ ist, so erhält man

seinen kleinsten Abstand von der Erde, wenn man die Entfernung der Erde von der Sonne von der des ☉ subtrahirt: und dieser Rest wird desto kleiner seyn, je größer die erstre und je kleiner die letztre ist; er wird also seinen kleinsten Werth erhalten, wenn man die Entfernung der Erde von der Sonne in ihrem Aphelium von der Entfernung des ☉ in seinem Perihelium abzieht. In der ♂ ist seine Entfernung von der Erde die Summe jener beyden, und man erhält ihren kleinsten oder grösten Werth, nachdem man beyde Planeten im Perihelium oder im Aphelium annimt, so wie der mittlere Werth durch ihre mittleren Entfernungen bestimmt wird. Um alle diese Werthe zu finden, darf man also nur alle in der vorigen Tafel enthaltenen Entfernungen mit denen der Erde durch Addition und Subtraktion kombiniren, da man dann die mittlere, kleinste und gröste Entfernung jedes Planeten von der Erde, sowol in der Opposition als Konjunktion erhält. So wird z. B. die gröste, mittlere, und kleinste Entfernung des ☉ von der Erde in der ♂ und ♂, in Millionen Meilen, worin folgende Tafel zur bessren Uebersicht nur ausgedrückt ist, 1) 404 + 20 = 424, 2) 386 + 20 = 406, 3) 368 + 20 = 388, 4) 404 − 20 = 384, 5) 386 − 20 = 366, 6) 368 − 20 = 348.

	Entfernung von der Erde in Millionen geograph. Meilen					
	In der obern ☌			In der ☍ od. untern ☌		
	Gröſte	Mittlere	Kleinſte	Gröſte	Mittlere	Kleinſte
☉	$424\frac{15}{16}$	$406\frac{9}{1}$	$388\frac{3}{16}$	$384\frac{2}{3}$	$366\frac{1}{4}$	$347\frac{8}{9}$
♄	$223\frac{2}{3}$	$212\frac{3}{10}$	$201\frac{1}{6}$	$183\frac{2}{15}$	172	$160\frac{9}{10}$
♃	$130\frac{1}{3}$	$124\frac{17}{18}$	$119\frac{11}{20}$	$90\frac{1}{20}$	$84\frac{2}{3}$	$79\frac{1}{4}$
♅	$80\frac{3}{8}$	$75\frac{8}{9}$	$71\frac{3}{20}$	$40\frac{3}{10}$	$35\frac{3}{8}$	$30\frac{8}{9}$
♆	$89\frac{9}{10}$	$75\frac{6}{7}$	$61\frac{4}{5}$	$49\frac{3}{8}$	$35\frac{11}{20}$	$21\frac{1}{2}$
☿	$87\frac{19}{20}$	$73\frac{8}{9}$	$59\frac{9}{11}$	$47\frac{2}{3}$	$33\frac{3}{8}$	$19\frac{1}{2}$
☐	$72\frac{1}{3}$	$67\frac{2}{3}$	$63\frac{1}{6}$	$31\frac{11}{12}$	$27\frac{2}{8}$	$22\frac{7}{8}$
♂	54	$50\frac{6}{6}$	$47\frac{2}{3}$	$13\frac{3}{4}$	$10\frac{11}{20}$	$7\frac{1}{3}$
♀	$35\frac{3}{20}$	$34\frac{7}{10}$	$34\frac{1}{4}$	6	$5\frac{3}{8}$	$5\frac{1}{8}$
☿	$29\frac{8}{9}$	$27\frac{15}{16}$	26	$14\frac{3}{10}$	$12\frac{1}{3}$	$10\frac{2}{3}$

Man ſieht aus dieſer Tafel, daß Uranus uns nie näher kommen kann als 348 Millionen Meilen, und ſich nie über 425 von uns entfernen kann, welches 21 mal ſo weit iſt als die Sonne; daß Jupiters Entfernung ſich von 79 bis 130 Millionen Meilen ändern kann; daß dieſe Aendrung bey den nähern Planeten, beſonders aber bey Mars und Venus, weit merklicher wird, ſo daß Ceres, Veſta, Merkur, zu einer Zeit dreymal ſo entfernt von uns ſeyn können als zu andern Zeiten, Pallas, Juno, viermal, Venus ſiebenmal, und Mars ſogar achtmal.

Uebrigens erhellt, daß die mittlere Entfernung von der Erde, bey den obern Planeten einerley iſt mit ihrer mittlern Entfernung von der Sonne, bey den untern mit der mittlern Entfernung der Erde von der Sonne. Erſtre findet ſtatt, wenn der obre Planet mit der Sonne in Qvadratur oder 90° von ihr entfernt ſcheint; letztre, wenn der untre Planet ſich in ſeiner gröſten Digreſſion von der Sonne befindet: dies ſind

nämlich die Stellen, die gleich weit von der ☌ und ☍, oder von der obern und untern ☌ entfernt sind.

und des Monds von der Erde.

§. 7. Die Parallaxe des Monds kann sich, wegen seiner ekzentrischen Bahn, von 53′46″,2 bis 61′22″,4 ändern (Th. §. 178.), wovon die Sinus oder die Bogen 0,01564106 und 0,01785278 sind. Dividirt man durch diese Zahlen den Erd-Halbmesser a, so erhält man für die Entfernung des Monds von der Erde r (§. 2.) die Gränzen 63,937 und 56,017 Erd-Halbmesser, also den mittlern Werth = 60: welches mit 859$\frac{2}{3}$ multiplizirt, die gröste, kleinste und mittlere Entfernung des Monds von der Erde in Meilen gibt, 54947,4; 48140,7; 51544. — Der nächste Planet (♀), wenn er sich uns in der untern ☌ am meisten nähert, ist doch noch hundertmal so weit von uns entfernt als der Mond, und der Halbmesser der Mondbahn ist nicht zehnmal so groß als der Umfang des Erd-Aequators (5400 Meilen): das Gängelband, an dem der Mond um die Erde geleitet wird, ist so kurz, daß es sich nicht zehnmal um die Erdkugel schlagen läst. Da das Licht 40540 Meilen in 1 Sekunde durchläuft (Th. §. 84.), so gebraucht es nur 1$\frac{1}{4}$ Sek. um vom Monde bis zu uns zu gelangen: der Schall würde denselben Weg in 12 Tagen zurück legen.

Reduktion der scheinbaren Größe.

§. 8. Die zweyte Größe die unmittelbar gemessen werden muß, ist die scheinbare Größe, aus der die wahre hergeleitet wird, so bald man die Entfernung kennt, in der jene gemessen ist. Bey den Planeten ist der Unterschied der Entfernungen so beträchtlich, daß z. B. Mars uns zuweilen 7 bis 8 mal größer scheinen kann, als zu andern Zeiten (§. 6.). Bey der Sonne und dem Monde finden freylich so große Unterschiede nicht statt, weil die Erde selbst der Zentralpunkt ihrer Bewegung ist; dagegen aber sind ihre Durchmesser so groß, daß die Ekzentrizität ihrer Bahnen einen sehr merklichen Einfluß darauf hat. Man muß daher bey allen diesen Weltkörpern die Entfernung genau kennen, die jeder in dem

Augenblick hatte, da seine Größe gemessen ward: alsdenn ist es leicht, und zur Vergleichung ihrer wahren Größen nothwendig, alle diese Durchmesser auf eine und dieselbe Entfernung zu reduziren, wofür man gewöhnlich den Halbmesser der Erdbahn annimt, der bey allen astronomischen Rechnungen $= 1$ gesetzt wird. In der Gleichung $c = r . \sin \varrho$ (§. 2.) ist der wahre Durchmesser des Planeten c eine beständige Größe, mithin muß auch das ihm gleiche Produkt $r . \sin \varrho$ unveränderlich seyn: woraus folgt, daß die scheinbare Größe ϱ desto kleiner wird, je mehr die Entfernung r, aus der sie gemessen ist, zunimt, und umgekehrt. Dies ist die bekannte Erfahrung auf der die Perspektive beruht, daß die scheinbare Größe der Gegenstände immer im verkehrten Verhältniß ihrer Entfernungen ist, so daß z. B. Mars uns siebenmal größer scheint, wenn er uns siebenmal näher kömmt, oder seine Entfernung nur der siebente Theil der vorigen ist. Ist also der Halbmesser eines Planeten in einer Entfernung r gemessen und $= \varrho$ gefunden, so wird sein scheinbarer Halbmesser ϱ', den er in einer Entfernung, die dem Halbmesser der Erdbahn oder 1 gleich ist, haben würde, durch die umgekehrte Regel de Tri gefunden, $1 : r = \varrho : \varrho'$, wo natürlich r in Halbmessern der Erdbahn ausgedrückt seyn muß. Man darf also nur den Halbmesser ϱ mit der Entfernung r, worin er gemessen ward, multipliziren, um den Halbmesser ϱ' in der mittlern Entfernung der Sonne von der Erde $= 1$ zu haben.

Scheinbare Durchmesser der Planeten.

§. 9. Die unvollkommenen Werkzeuge der alten Astronomen erlaubten ihnen nicht, diese kleinen Winkel genau zu messen; indeß kamen sie doch bey dem Monde und der Sonne der Wahrheit ziemlich nahe. Die sinnreiche Methode, wodurch Aristarch den Sonnen-Durchmesser bestimmte, gab das nicht sehr felerhafte Resultat von 30′; allein schon Ptolemäus gab den Durchmesser des Monds, wenn er am weitsten von uns ist, so wie der Sonne, zu 31′20″ an, und erkannte, daß er in der Erdnähe merklich größer sey. Zu Ko-

perniks Zeit bemerkte man zuerst den Unterschied in der Größe der Sonne nach ihren verschiednen Entfernungen von der Erde. Nach den genauesten Messungen ist der scheinbare Durchmesser der Sonne den 1 Julius, wenn sie die größte Entfernung von uns hat, 31′30″,5; am 1 Januar, wenn sie uns am nächsten ist, 32′35″,3: in der mittlern Entfernung also 32′2″,9. — Der Durchmesser des Monds ändert sich nach seiner Entfernung von der Erde von 29 22″ bis 33′31″, so daß der mittlere Werth 31′26″,5 ist. Da sich die mittlere Entfernung des Monds von der Erde zu der der Sonne wie 51544 zu 20′143635 verhält (§. 5. 7.), so würde der Durchmesser des Mondes in der Entfernung der Sonne $\frac{20'143635}{51544}$ oder 391 mal kleiner scheinen, also = 4″,9 seyn.

Folgende Tafel enthält die Resultate der genauesten Messungen aller Planeten. Man findet darin nicht allein ihre scheinbaren Durchmesser in der Entfernung der Erde von der Sonne, sondern auch in der größten und kleinsten Entfernung, die jeder Planet wirklich von der Erde haben kann, welches die mittleren, kleinsten und größten Durchmesser gibt. Die letztern beyden folgen unmittelbar aus dem erstern, vermittelst der Tafeln (§. 5. 6.), weil sich die scheinbaren Größen verkehrt wie die Entfernungen verhalten. So hat man z. B. für den Uranus folgende Verhältnisse: seine größte Entfernung von der Erde (425) verhält sich zur mittlern Entfernung der Erde von der Sonne (20), wie sein mittlerer Durchmesser (1′14″,5) zu 3″,53; und eben so, 348: 20 = 1′14″,5 : 4″,31; woraus der kleinste und größte scheinbare Durchmesser 3″,53 und 4″,31 folgt. — Die Größe der Erde wie sie in der Sonne erscheint, ist nichts anders als ihre doppelte Parallaxe von 8″,8; weil diese durch zwey gerade Linien bestimmt wird, die aus der Sonne nach dem Mittelpunkt und nach dem Rande der Erdkugel gezogen sind. Die vier neuen Planeten sind so klein, daß es Hn. Schröter nur

mit vieler Mühe gelungen ist, ihre scheinbare Größe mit einiger Genauigkeit zu messen.

	Scheinbare Durchmesser		
	Mittlerer	Kleinster	Größter
☉	1′.14″,5	3″,53	4″,31
♄	2. 51, 7	15, 48	21, 49
♄ Ring	6. 40, 7	36, 13	50, 16
♃	3. 13, 7	29, 94	49, 21
☾	3, 5	0, 87	2, 28
✝	4, 5	1, 01	4, 22
⚳	3, 1	0, 71	3, 20
☖	0, 6	0, 17	0, 53
♂	9, 9	3, 69	27, 19
♁	17, 6	17, 31	17, 90
♀	16, 7	9, 57	1′. 5″,64
☿	6, 0	4, 05	11, 62
☾	4, 9	29′.22″,0	33. 31, 0.
☉	32. 2, 9	31. 30, 5	32. 35, 3.

Die beyden letzten Kolumnen dieser Tafel zeigen die Winkel, unter denen jeder Planet uns wirklich erscheint, oder vielmehr die Gränzen, zwischen welchen ihr scheinbarer Durchmesser für ein Auge auf der Erde beständig eingeschlossen ist; die erste Kolumne aber bezieht sich auf einen Fall, der nur bey ⚳, ♂, ♀, ☿, ☉, wirklich eintreten kann, nämlich der Winkel, unter dem jeder Planet uns erscheinen würde, wenn er eben so weit von uns wäre als die Sonne; alle übrigen Planeten sind beständig weiter von uns entfernt, wie ihre kleinste Entfernung (§. 6.) zeigt. Aus dieser Kolumne sieht man also unmittelbar, wie sich die wahren Größen der Planeten gegen einander verhalten: dieses Verhältniß ist nämlich mit dem der Zahlen der ersten Kolumne, wie sie in der nämlichen Ent-

fernung erscheinen, einerley. Um dasselbe deutlicher zu machen, darf man nur alle diese Zahlen mit dem scheinbaren Durchmesser der Erde = 17″,6 dividiren, da dann der Erd-Durchmesser = 1 wird, und die übrigen Zahlen ausdrücken, wie vielmal jeder Planet größer oder kleiner als die Erde sey.

Verhältniß zweyer Kugeln.

§. 10. Wenn ein Kreis einen zwey oder dreymal so großen Halbmesser hat, als ein andrer, so ist auch seine Peripherie 2 oder 3 mal so groß, und überhaupt verhalten sich die Peripherien der Kreise wie ihre Halbmesser, weil die Natur des Kreises es mit sich bringt, daß zwischen dem Halbmesser und der Peripherie ein beständiges Verhältniß statt findet. Theilt man nun die Peripherie in eine Menge z. B. 100 gleiche Bogen, und zieht aus jedem Theilungspunkt gerade Linien nach dem Mittelpunkt, so ist die ganze Kreisfläche in 100 gleiche Dreyecke getheilt, für deren Länge oder Basis man einen der 100 Bogen aunehmen kann, und für die Breite oder Höhe den Halbmesser. Verfährt man eben so mit einem andern Kreise, dessen Halbmesser 2 oder 3 mal so groß ist, so ruht jedes seiner 100 Dreyecke auf einer 2 oder 3 mal so langen Basis, weil die Peripherien, also auch ihre Hunderttheile sich wie die Halbmesser verhalten: man kann also jedes Dreyeck in 2 oder 3 theilen, die mit den 100 des ersten Kreises gleiche Basis haben, so daß der zweyte Kreis 2 oder 3 mal so viel Dreyecke von gleicher Basis hat, als der erste. Ueberdem ist die Höhe jedes dieser Dreyecke (der Halbmesser), also auch das Dreyeck selbst 2 oder 3 mal so groß, als im ersten Kreise: folglich muß die ganze Fläche des zweyten Kreises 4 oder 9 mal so groß seyn, als die des ersten, weil es 2 oder 3 mal so viel Dreyecke enthält, deren jedes 2 oder 3 mal so groß ist. Dies drücken die Geometer so aus: Die Kreisflächen verhalten sich wie die Quadratzahlen ihrer Halbmesser, wie 2 mal 2 oder 3 mal 3 zu 1 mal 1. Es ist dies eine allgemeine Eigenschaft aller ähnlichen Flächen, und die Oberflächen der Kugeln, die viermal so groß

sind als die Flächen der Kreise durch ihren Mittelpunkt, verhalten sich ebenfalls wie die Quadratzahlen ihrer Halbmesser. Hievon ist aber das Verhältniß des körperlichen Inhalts der Kugeln ganz verschieden. Man stelle sich die Oberfläche einer Kugel in 100 gleiche Flächen getheilt vor, von denen aus jedem Punkt gerade Linien nach der Kugel Mittelpunkt gezogen sind, so daß die ganze Kugel in 100 gleiche Pyramiden getheilt ist, deren Basis der 100te Theil der Kugelfläche, und deren Höhe der Halbmesser ist. Verfährt man eben so mit einer zweyten Kugel, deren Halbmesser 3 mal so groß ist, so wird ihre Oberfläche (wie eben gezeigt ist) 3 mal 3 mal oder 9 mal so groß: man kann sie also in 900 gleiche Flächen theilen, deren jede so groß ist, wie der 100te Theil der ersten, und jede dieser 900 Pyramiden ist 3 mal so groß, weil ihre Höhe (der Halbmesser) 3 mal so groß ist. Die zweyte Kugel besteht also aus 3 mal 3 mal so vielen Pyramiden, deren jede 3 mal so groß ist, als in der ersten Kugel: folglich ist ihr körperlicher Inhalt 3 mal 3 mal 3 mal oder 27 mal so groß als der der ersten, d. h. der körperliche Inhalt der Kugeln verhält sich wie die Kubikzahlen der Halbmesser, oder wie diese Zahlen zweymal mit sich selbst multiplizirt ($3 \times 3 \times 3 = 27$ oder $4 \times 4 \times 4 = 64$ ꝛc.).

§. 11. Nach dieser Theorie enthält folgende Tafel zuerst alle Zahlen der ersten Kolumne obiger Tafel (§. 9.) durch 17″,6 dividirt, mithin das Verhältniß der wahren Durchmesser aller Planeten zum Erd-Durchmesser. Die zweyte Kolumne gibt die Zahlen der ersten mit sich selbst multiplizirt, oder ihre Quadrate, also das Verhältniß der Oberfläche jedes Planeten zur Erdfläche; und die dritte enthält die Zahlen der zweyten nochmals mit denen der ersten multiplizirt, oder die Kubikzahlen, mithin das Verhältniß des körperlichen Inhalts jedes Planeten zur Erdkugel. So findet man z. B. für den Uranus, 1′14″,5 oder 74″,5 durch 17″,6 dividirt = 4,233 oder $4\frac{1}{4}$, welches mit sich selbst multiplizirt 17,92 oder $17\frac{23}{25}$

Verhältniß der wahren Größen der Planeten.

gibt, und dies nochmals mit 4,23 multiplizirt 75,85 oder $75\frac{17}{20}$.

	Verhältniß der wahren Größe zur Größe der Erde		
	Durchmesser	Oberfläche	Körperlicher Inhalt
☉	4,233 = $4\frac{1}{4}$	17,92 = $17\frac{11}{12}$	75,85 = $75\frac{17}{20}$
♄	9,756 = 9^{3}	95,17 = $95\frac{1}{6}$	928,5 = $928\frac{1}{2}$
♃	11,006 = 11	121,12 = $121\frac{1}{8}$	1333,06 = $1333\frac{1}{16}$
♅	0,20 = $\frac{1}{5}$	0,04 = $\frac{1}{23}$	0,008 = $\frac{1}{123}$
♆	0,256 = $\frac{1}{4}$	0,06 = $\frac{1}{15}$	0,017 = $\frac{1}{60}$
⚳	0,176 = $\frac{1}{6}$	0,031 = $\frac{1}{33}$	0,005 = $\frac{1}{182}$
⚴	0,034 = $\frac{1}{30}$	0,0012 = $\frac{1}{862}$	0,00004 = $\frac{1}{2300}$
♂	0,56 = $\frac{5}{9}$	0,316 = $\frac{3}{10}$	0,178 = $\frac{1}{6}$
⚵	1	1	1
♀	0,95 = $\frac{19}{20}$	0,9 = $\frac{9}{10}$	0,85 = $\frac{17}{20}$
☿	0,34 = $\frac{1}{3}$	0,116 = $\frac{1}{9}$	0,04 = $\frac{1}{23}$
☾	0,28 = $\frac{3}{11}$	0,077 = $\frac{1}{13}$	0,022 = $\frac{1}{46}$
⊙	109,26 = $109\frac{1}{4}$	11937	1304163

Diese Tafel gibt zu einer Menge interessanter Vergleichungen Anleitung. 1) Venus kömmt der Erde an Größe am nächsten: sie ist nur um $\frac{3}{20}$ oder $\frac{1}{7}$ kleiner. 2) Vesta ist der kleinste aller Planeten, und wie wir unten sehn werden, der kleinste Weltkörper unsers Systems: sie ist 25000 mal kleiner als die Erde, 33 Millionen mal kleiner als Jupiter, mehr als 32000 Millionen mal kleiner als die Sonne, und selbst 544 mal kleiner als unser Mond. 3) Ueberhaupt sind alle vier neue Planeten kleiner als der Mond, und machen gleichsam eine besondre Klasse von Planeten aus, der Hr. Herschel den Namen Asteroiden gegeben hat. Ihre vier Kugeln zusammen machen nur den 33sten Theil der Erdkugel aus, und sind nur um $\frac{1}{3}$ größer als der Mond: der größte

unter ihnen Pallas, ist um $\frac{1}{4}$ kleiner als der Mond. 4) Jupiter, der gröste aller Planeten, ist doch beynahe tausendmal kleiner als die Sonne: er ist 1333 mal größer als die Erde, und noch um $\frac{1}{3}$ größer oder $\frac{4}{3}$ mal so groß, als die Kugeln aller übrigen Planeten zusammen genommen. 5) Alle Planeten-Kugeln vereinigt geben eine Kugel, die $2336\frac{1}{2}$ mal so groß ist als die Erdkugel, die aber von der Sonnen-Kugel 558 mal an Größe übertroffen wird. 6) Die Oberfläche aller Planeten zusammen macht den 50sten Theil von der Oberfläche der Sonne.

Ihre wahren Größen.

§. 12. Da der Durchmesser der Erde, der hier = 1 angenommen ist, 1718,8 geographische Meilen enthält (§. 4.), so darf man nur alle Zahlen der ersten Kolumne in der Tafel (§. 11.) mit 1718,8 multiplizieren, um die Durchmesser aller Planeten in Meilen zu erhalten. Die aus der Geometrie bekannte Theorie der Kugeln (§. 10.) gibt alsdenn auch ihre Oberfläche und ihren körperlichen Inhalt in Quadrat- und Kubik-Meilen, wie folgende Tafel zeigt.

	Größe der Planeten in geographischen Meilen		
	Durchmesser Meilen	Oberfläche Quadrat-Meilen	Körperlicher Inhalt Kubik-Meilen
☉	7270	166'066230	201231 Millionen
♄	16769	883'373000	$2\frac{1}{2}$ Billionen
♃	18917	1124'241300	$3\frac{1}{2}$ —
♆	344	371245	$21\frac{1}{4}$ Millionen
♅	440	608248	$44\frac{3}{8}$ —
⚳	303	287492	$14\frac{1}{2}$ —
☐	58	10729	104499
♂	963	2'910560	467 Millionen
♁	1719	9'281122	2660 —
♀	1633	8'376214	2280 —
☿	584	1'072893	$104\frac{1}{2}$ —
☾	481	72764	$58\frac{1}{3}$ —
⊙	187796	110795'690000	3468 Billionen

Wenn man die Oberfläche in dieser Tafel mit bekannten Ländern auf der Erde vergleicht, so ergeben sich einige merkwürdige Resultate. Die ganze Oberfläche des Monds ist nur zweymal so groß, folglich ist alles was wir vom Monde sehen, nicht größer als das Russische Reich. Ceres und Juno sind ungefähr halb so groß, und die ganze Oberfläche der Vesta beträgt nur etwa den achten Theil vom europäischen, oder den 33sten Theil von ganz Rußland, und ist ungefähr so groß wie Frankreich oder Spanien.

Wie sie in der Sonne erscheinen.

§. 13. So wie man sich in den Mittelpunkt der Sonne versetzen muß, um einen richtigen Ueberblick von der Bewegung der Planeten zu erhalten, so wird man auch fragen, wie sich die Planeten selbst, in Rücksicht auf ihre Größe, einem Auge in diesem Zentralpunkt des ganzen Systems zeigen. Um diese Frage zu beantworten, darf man sich nur erinnern,

daß die scheinbaren Größen sich verkehrt wie die Entfernungen verhalten (§. 8.), so daß man nur die Zahlen der ersten Kolumne (§. 9.), welche die scheinbaren Größen in der Entfernung = 1 ausdrücken, durch die Entfernung jedes Planeten von der Sonne (Th. §. 147.) dividiren darf, um seinen Durchmesser zu erhalten, wie er wirklich in der Sonne erscheint. So findet man für den Uranus, 1'14",5 oder 74",5 dividirt durch 19,18.... = 3",883.

	Durchmesser der Planeten aus der Sonne gesehen	
	in Sekunden	im Verhältniß zur Erde
☉	3",883	0,220 = $\frac{1}{6}$
♄	18,000	1,023 = $1\frac{1}{44}$
♄ Ring	42,007	2,386 = $2\frac{2}{3}$
♃	37,230	2,115 = $2\frac{1}{9}$
☾	1,265	0,072 = $\frac{1}{14}$
⚳	1,628	0,093 = $\frac{1}{11}$
⚴	1,162	0,066 = $\frac{1}{15}$
⚵	0,254	0,014 = $\frac{1}{71}$
♂	6,497	0,370 = $\frac{11}{30}$
♁	17,600	1,000 = 1
♀	23,088	1,310 = $1\frac{3}{10}$
☿	15,500	0,880 = $\frac{9}{10}$
☾	4,900	0,280 = $\frac{1}{4}$

Der gröste aller Planeten, Jupiter, erscheint auch in der Sonne doppelt so groß als irgend ein andrer, und mit dem Saturns-Ringe fast von gleichem Durchmesser. Nach ihm scheinen am gröstен, und beynahe von einer Größe, ♀, ♄, die Erde, und ☿: dann folgt ♂, unser Mond, und ☉, die nur den dritten oder vierten Theil so groß scheinen

als die Erde; endlich folgen die viermal kleineren neuen Planeten. Uebrigens begreift man leicht, daß die obern Planeten, so fern man ihre Bahnen als Kreise betrachtet, in der Sonne beständig so groß erscheinen, wie sie uns auf der Erde in ihrer mittlern Entfernung scheinen, die mit ihrer Entfernung von der Sonne einerley ist. Die untern Planeten sind in ihrer mittlern Entfernung so weit von der Erde, als die Sonne: sie erscheinen also in der Sonne um so viel größer als auf der Erde in ihrer mittlern Entfernung, als ihre Bahn kleiner ist als die Erdbahn. Die Erde erscheint in der Sonne so groß, wie wir den Saturn sehen, begleitet von einem Trabanten, der etwas größer scheint als uns Uranus. Die vier neuen Planeten können von der Sonne aus nur durch die vollkommensten Fernröhre gesehen werden.

Wie die Sonne ihnen erscheint.

§. 14. Durch den fast täglichen Anblick der Sonne und des Monds sind wir mit ihrer scheinbaren Größe so vertraut geworden, daß sie als ein Maasstab zur Vergleichung aller andern dienen kann; und man wird begierig seyn zu wissen, unter was für einer Größe die Gottheit des Tages und der Zentralkörper des ganzen Systems den übrigen Planeten erscheine. Hiezu dient folgende Tafel, die nach dem einfachen Grundsatze berechnet ist, daß die scheinbaren Größen desselben Gegenstands sich verkehrt wie die Entfernungen verhalten (§. 8.), und die Oberflächen der Kugeln wie die Quadratzahlen der Durchmesser (§. 10.).

	Scheinbare Größe der Sonne auf den Planeten		
	Durchmesser in Minuten und Sekund.	Durchmesser im Verhältniß zur scheinbaren Größe auf der Erde	Oberfläche
☉	1′.40″,2	0,0521 = $\frac{1}{19}$	0,0027 = $\frac{1}{370}$
♄	3. 21, 6	0,1048 = $\frac{2}{19}$	0,0110 = $\frac{1}{91}$
♃	6. 9, 6	0,1922 = $\frac{5}{46}$	0,0369 = $\frac{1}{27}$
♁	11. 34, 9	0,3614 = $\frac{4}{11}$	0,1306 = $\frac{5}{38}$
♁	11. 35, 4	0,3616 = $\frac{4}{11}$	0,1308 = $\frac{5}{38}$
☽	12. 0, 8	0,3748 = $\frac{5}{13}$	0,1405 = $\frac{1}{7}$
☿	13. 34, 9	0,4237 = $\frac{5}{12}$	0,1796 = $\frac{2}{11}$
♂	21. 2, 1	0,6563 = $\frac{2}{3}$	0,4307 = $\frac{3}{7}$
♁	32. 2, 9	1,0000 = 1	1,0000 = 1
♀	44. 18, 5	1,3825 = $1\frac{2}{5}$	1,9113 = $1\frac{9}{10}$
♅	82. 47, 7	2,5827 = $2\frac{3}{3}$	6,6701 = $6\frac{2}{3}$

Die Sonne scheint also auch dem fernsten Planeten, Uranus, noch immer größer als uns der größte Planet, und zwar gerade zweymal, oder die ganze Scheibe viermal so groß, als Jupiter, wenn er uns am schönsten glänzt; aber 19 mal, oder nach der Oberfläche 370 mal kleiner, als die Sonne uns scheint: wir erhalten daher auch 370 mal so viel Licht von der Sonne, als Uranus. Der nächste, Merkur, sieht die Sonne im Durchmesser $2\frac{1}{2}$ mal, nach der Oberfläche fast 7 mal größer, als wir, erhält daher auch 7 mal so viel Licht von ihr. Mars erhält nicht völlig halb so viel Licht als die Erde, Venus zweymal so viel, ꝛc.

Entfernung der Trabanten von ihrem Planeten.

§. 15. Die Trabanten haben beständig dieselbe Entfernung von der Erde, wie ihr Haupt-Planet; ihre Entfernungen von diesem, oder die Halbmesser ihrer Bahnen, sind durch die Beobachtungen nur im Verhältniß zur Größe des

Haupt-Planeten bestimmt (Th. §. 188.). Multiplizirt man nun diese Zahlen mit den Halbmessern der Planeten in Meilen (§. 12.), so erhält man die Halbmesser der Trabanten-Bahnen in eben dem Maaß. So ist z. B. die Entfernung des I Trabanten vom Jupiter = 5,813 Halbmesser des ♃ (Th. §. 188.), und der Durchmesser dieses Planeten beträgt 18917 Meilen (§. 12.), sein Halbmesser also $9458\frac{1}{2}$: die Entfernung des I Trabanten vom ♃ in Meilen ist demnach 5,813 mal $9458\frac{1}{2}$, d. i. 54982. — Folgende Tafel enthält die Halbmesser der Bahnen aller Trabanten, 1) in Halbmessern ihres Haupt-Planeten, 2) in geographischen Meilen, 3) im Verhältniß zum Halbmesser der Bahn unsers Monds.

	Halbmesser der Trabanten-Bahnen in		
	Halbmessern des Haupt-Planeten	geographischen Meilen	Halbmessern der Mond-Bahn
☾. ☾	60,000	51544	1,0000
♃. I.	5,813	54982	1,0667 = $1\frac{1}{15}$
II.	9,249	87479	1,6972 = $1\frac{7}{10}$
III.	14,752	139536	2,7071 = $2\frac{7}{10}$
IV.	25,947	245418	4,7613 = $4\frac{3}{4}$
♄. I.	3,080	25840	0,5013 = $\frac{1}{2}$
II.	3,952	33155	0,6432 = $\frac{2}{3}$
III.	4,893	41050	0,7964 = $\frac{4}{5}$
IV.	6,268	52585	1,0202 = $1\frac{1}{30}$
V.	8,752	73425	1,4245 = $1\frac{2}{5}$
VI.	20,295	170265	3,3033 = $3\frac{3}{10}$
VII.	59,154	496272	9,6281 = $9\frac{3}{5}$
♁. I.	13,120	47694	0,9253 = $\frac{12}{13}$
II.	17,022	61879	1,2005 = $1\frac{1}{5}$
III.	19,845	72142	1,3996 = $1\frac{2}{5}$
IV.	22,752	82709	1,6046 = $1\frac{3}{5}$
V.	45,507	165429	3,2095 = $3\frac{1}{5}$
VI.	91,008	330837	6,4185 = $6\frac{2}{5}$

Die erste Kolumne dieser Tafel zeigt, daß es nur einen Trabanten gibt, nämlich den äußersten des Uranus, der von seinem Planeten um mehrere seiner Durchmesser entfernt ist, als der Mond von der Erde: der äußerste Saturns-Trabant ist um eben so viele Durchmesser entfernt, die übrigen aber viel weniger. — Die zweyte Kolumne lehrt, daß die Entfernungen aller Trabanten von ihren Planeten (mit Ausnahme der äußersten vom ♃, ♄ und ☉) weniger betragen, als der Durchmesser der Sonne von 187796 Meilen: die Entfernungen des Monds, zweyer vom ♃, 5 vom ♄, und 4 vom ☉, also von $\frac{2}{3}$ der ganzen Anzahl, betragen sogar weniger als der Sonnen-Halbmesser, so daß sie um den Mittelpunkt der Sonne dieselben Bahnen ganz innerhalb des Sonnenkörpers durchlaufen würden. — Die kleinste aller Trabanten-Bahnen ist die des I Saturns-Trabanten: ihr Halbmesser von 25840 Meilen ist nur um $\frac{1}{2}$ größer als der Durchmesser des Haupt-Planeten, und um $\frac{1}{3}$ größer als der Durchmesser Jupiters; dieser Trabant ist also von der Oberfläche Saturns nur um 17456 Meilen entfernt, ihm also dreymal näher als uns der Mond. — Der äußerste Saturns-Trabant beschreibt unter allen die größte Bahn, und doch beträgt sie nur den 16ten Theil von der kleinsten aller Planeten-Bahnen, des Merkurs; die kleinste Trabanten-Bahn ist nur $\frac{1}{300}$ von der Merkurs-Bahn: so verschieden sind, wie sich leicht erwarten ließ, die Maasstäbe der Planeten- und Trabanten-Systeme. — Aus der dritten Kolumne sieht man, das es nur vier Trabanten-Bahnen gibt (3 um den ♄, 1 um den ☉), die kleiner als die Mondbahn sind, 7 oder 8, also die Halfte, die fast dieselbe Größe haben, und 6 die merklich größer sind, daß aber doch keine die Mondbahn zehnmal übersteigt: die Bahn unsers Mondes gehört also weder zu den größern, noch zu den ganz kleinen.

§. 16. Die Trabanten sind im Verhältniß ihrer Entfernung von der Erde so klein, daß das einzige Mittel ihren

Ihre Größe.

scheinbaren Durchmesser einigermaßen zu bestimmen, darin besteht, die Zeit zu beobachten, die sie anwenden, vor oder hinter dem Haupt-Planeten ganz ein zu treten; aber auch diese Beobachtung läst sich, selbst mit den vollkommensten Fernröhren, bey den Trabanten des Saturns und Uranus nicht anstellen. Es bleiben daher nur die Jupiters-Trabanten über, deren Größe, nach den neuesten und genauesten Messungen die H. Schröter angestellt hat, folgende Tafel enthält.

Durchmesser der Jupiters-Trabanten

	Scheinbarer		Wahrer	
	auf der Erde	auf dem Jupiter	in Theilen Jupiters	in Meilen
I	1″, 40	33′. 16″.	$\frac{1}{34}$	564
II	1, 15	17. 13.	$\frac{1}{42}$	465
III	2, 04	18. 59.	$\frac{1}{24}$	818
IV	1, 42	7. 32.	$\frac{1}{34}$	570

Alle vier Trabanten erscheinen also auf dem Jupiter größer als die Sonne, der I sogar 5 bis 6 mal, oder der Oberfläche nach 29 mal so groß. Der I erscheint auf dem ♃ eben so groß, wie uns der Mond, der II und III etwa halb so groß, der IV nur $\frac{1}{4}$, oder nach der Oberfläche $\frac{1}{16}$ so groß. Alle vier scheinen uns etwas kleiner als ♄, ♅, ♆, wenn sie uns am nächsten sind. Der II ist der kleinste, der III der gröste unter allen: er ist fast 2 mal, oder dem körperlichen Inhalt nach 5 bis 6 mal größer als der II. Mit Ausnahme des II, der etwas weniges kleiner ist, sind die übrigen größer als unser Mond, aber nicht viel, so daß man sie im ganzen mit diesem von einer Größe annehmen kann. — Der wahren körperlichen Größe nach sind die vier Trabanten 41865 mal, 74512 mal, 13686 mal, und 40450 mal kleiner als

Jupiter, so daß alle vier zusammen nur eine Kugel ausmachen würden, die $\frac{1}{7402}$ von Jupiters Kugel beträgt.

Da Jupiter in der Entfernung der Erde von der Sonne = 20'143635 Meilen (§. 5.) einen scheinbaren Durchmesser von 3'13",7 hat (§. 9.), und die scheinbaren Durchmesser sich verkehrt wie die Entfernungen verhalten, so findet man aus der zweyten Kolumne der Tafel (§. 15.), unter welchem Winkel der Durchmesser Jupiters auf jedem Trabanten erscheint. Vergleicht man diese Winkel mit dem Durchmesser der Sonne, wie er auf der Erde, und auf dem Jupiter oder dem Trabanten erscheint, nämlich 32'2",9 (§. 9.) und 6'9",6 (§. 14.), so erhält man die Verhältnisse, die in der zweyten und dritten Kolumne der folgenden Tafel enthalten sind.

	Scheinbarer Durchmesser des ♃ auf seinen Trabanten		
		größer als die Sonne erscheint	
	in Graden	auf der Erde	auf dem Jupiter
I	19°.48'.42".	37 mal	193 mal
II	12. 24. 51.	23 mal	121 mal
III	7. 46. 25.	14 mal	76 mal
IV	4. 25. 4.	8 mal	43 mal

Auf dem I Trabanten kann Jupiter das ganze Gestirn Orions, oder die sieben Sterne des großen Wagens (Bären) bedecken, und nimt den 18ten Theil des ganzen Horizonts ein: die Scheibe dieses Planeten erscheint daselbst 1370 mal, und selbst auf dem IV noch 64 mal so groß, als uns die Sonnenscheibe, und Jupiter scheint dem I Trabanten 37000 mal, und dem IV 1850 mal so groß als die Sonnenscheibe.

Saturns Durchmesser erscheint auf seinem nächsten Trabanten unter einem Winkel von 24° 54′, der Ring unter einem Winkel von 54° 42′. Nach H. Schröter enthalten die Durchmesser des III und IV Saturns-Trabanten 256 und 680 Meilen: der erstre ist also im Durchmesser halb so groß als unser Mond, der letztre um $\frac{1}{7}$ größer.

Zweytes Kapitel.

Größe des Sonnen-Systems.

Sinnliche Darstellung obiger Verhältnisse.

§. 17. Das durch Zahlen ausgedrückte Verhältniß zweyer Größen beschäftigt unsern Verstand nur so lange, als wir arithmetische Operationen damit vornehmen: eine bestimmte Vorstellung von dem Verhältnisse selbst, kann unsre Sele nur mit Hülfe der Sinne oder der Einbildungskraft erhalten, weil alle Größen an sich Gegenstände der Sinne sind. Wenn ich weiß, daß die Durchmesser zweyer Planeten sich wie 2 zu 1 verhalten, so lehrt mir die Geometrie, daß der Umfang des erstern von Pol zu Pol, oder längs dem Aequator, auch doppelt so groß, daß seine Oberfläche viermal, und sein körperlicher Inhalt achtmal so groß ist, als des letztern: bis so weit hat bloß der Verstand gewirkt, und die Sele hat keine Idee von der Sache selbst, sondern nur von den symbolischen Zeichen wodurch sie ausgedrückt wird. So bald ich mir aber einen klaren Begrif von jenem Verhältnisse machen will, muß ich die Einbildungskraft anstrengen, um ein lebhaftes Bild von zwey geraden Linien hervor zu bringen, deren eine die Hälfte der andern ist, und die als Durchmesser von Kugeln umgeben sind; oder wenn meine Einbildungskraft zu schwach hiezu ist, entwerfe ich durch Zeichnung ein eigentlich sinnliches

Bild, welches dann einer lebhaften Fantasie eingedrückt wird, um es, so oft es nöthig ist, auch ohne Zeichnung zu erneuern, oder in Zahlen ausgedrückt wird, um es dem treuern Gedächtniß an zu vertrauen. Die Leser dieses Werks erwarten mit Recht, hier eine sinnliche Darstellung aller der Verhältnisse zu finden, die im vorigen Kapitel durch Zahlen ausgedrückt sind: und hiezu dienen die Figuren 2 bis 11, zu deren Erklärung nur wenig zu sagen ist.

§. 18. Die 2te Figur zeigt nicht allein alle bisher bekannten Planeten-Bahnen nach ihrer wahren Lage und Größe, sondern auch das richtige Verhältniß der Planeten-Kugeln selbst zur Sonne, deren Größe durch den äußersten Kreis ♈ ♋ ♎ ♑ dargestellt ist. Von jeder Planeten-Bahn drückt der ganz ausgezogene Kreisbogen diejenige Hälfte aus, die nordlich über der Ekliptik liegt; die südliche Hälfte ist durch Punkte angezeigt: wodurch also die Lage der Knoten bestimmt ist. Ihre Ekzentrizität und die Lage ihrer Apsiden wird man leicht mit einem Zirkel finden: so zeigt sich, daß die Sonnenferne des Uranus in A (347°), die Sonnennähe in P fällt. Die Ekzentrizität zeigt sich besonders auffallend an den Bahnen der vier neuen Planeten, die auf eine in unserm Sonnen-System ganz einzige Art in einander verschlungen sind, wodurch allein es ihnen möglich ist, ihre Reihetänze, bey fast gleicher Entfernung von der Sonne, in schwesterlicher Eintracht ungestört fort zu setzen: denn die Durchschnittspunkte in der Zeichnung sind keine wirkliche Durchschnitte, weil ihre Bahnen in verschiedenen Ebnen liegen; auch treffen die Planeten nicht zugleich in solchen Punkten ein.

Größe der Planeten und ihrer Bahnen. 2. Fig.

Damit man sich eine sinnliche Vorstellung von dem Unterschiede der Planeten- und Kometen-Bahnen machen könne, sind die zwey Kometen beygefügt worden, die 1759 und 1680 zum letzten mal erschienen sind, deren Bahnen und Rückkehr am zuverlässigsten bekannt sind, und wovon jener eine sehr

geringe, dieser vielleicht unter allen Weltkörpern die gröste Ekzentrizität hat. Aus ihren Umlaufszeiten von $75\frac{1}{2}$ und 575 Jahren (Th. §. 157.) folgt nach dem dritten Kepler: schen Gesetze, daß ihre großen Axen 17,9 und 69 mal so groß sind, als der Durchmesser der Erdbahn. Die Bahn des letztern ist also $3\frac{1}{2}$ mal so lang als die Uranus: Bahn, und er entfernt sich 7 mal so weit von der Sonne als dieser Pla: net, oder 138 mal so weit als die Erde. Die Bahn des er: stern ist fast so lang als die Uranus: Bahn, aber 3 bis 4 mal mehr eingedrückt; die Punkte C, D, zeigen seine mittle: re Entfernung von der Sonne, oder die Hälfte seiner Bahn an, so daß C D die kleine Axe seiner Bahn, und die ge: rade Linie von C oder D nach der Sonne (dem Mittelpunkt des äußersten Kreises) der halben großen Axe gleich ist. Die: ser Komet ging zwischen den Bahnen der Venus und des Merkurs durch: der andre von 1680 berührte beynahe die Sonne (Th. §. 159.).

Die Kreise oder Pünktchen, die man auf jeder Bahn neben dem Zeichen des Planeten antrifft, stellen die Größe seiner Scheibe in einem so genauen Verhältnisse dar, als es der kleine Maasstab erlaubte: auch der Ring Saturns ist nach diesem Maasstabe vorgestellt, nach welchem die Sonnen: scheibe den äußersten Kreis ausfüllt. Zwischen diesen Größen und den Bahnen selbst findet aber kein Verhältniß statt, wie man leicht selbst bemerken wird.

Scheinbare Grö: ße der Planeten und der Sonne. 2. Fig.

§. 19. Die 3te Figur zeigt die verhältnismäßige Größe aller Planeten, in der sie auf der Erde erscheinen, wenn sie die kleinste und gröste mögliche Entfernung von ihr haben: sie stellt also die Zahlen der zwey letzten Kolumnen in der Tafel §. 9. sinnlich dar. Man muß indeß bemerken, daß dies nur die äußersten Gränzen sind, zwischen welche die wirkliche Grö: ße der Planeten fällt. Die untern Planeten sind uns sogar unsichtbar, wenn sie diese Gränzen erreichen, weil sie dann mit der Sonne in Konjunktion sind; und der gröste Glanz

der Venus fällt nahe bey den grösten Digressionen von der Sonne, wo sie also nur etwa halb so groß als die Gränze in der Figur erscheint, und ihre Scheibe nur halb erleuchtet ist. Die Linie A B 5 mal vergrößert, zeigt in eben dem Verhältniß den Durchmesser der Sonne oder des Monds, wie er uns gewöhnlich erscheint. Der Durchmesser der Vesta konnte wegen seiner geringen Größe gar nicht angegeben werden; der des Uranus ändert sich nicht merklich, daher nur sein mittlerer Werth angezeigt ist.

Die 4te Figur drückt die Verhältnisse aus, die in der Tafel §. 14. enthalten sind. Bey jedem Planeten steht nämlich die Größe der Sonnenscheibe, wie sie ihm erscheint: wobey der Kreis bey ☉, der die jedem bekannte scheinbare Größe der Sonne auf der Erde vorstellt, zum Maasstabe dienen muß. Die Vergleichung der Kreise bey ☉ und ♃ zeigt zugleich, wie auf dem Jupiter sein erster Trabant und die Sonne erscheint. 4. Fig.

§. 20. In der 5ten Figur sieht man nicht allein das richtige Verhältniß der Entfernungen der Planeten von der Sonne, sondern auch so wol die Winkel als die Bogen, die sie nach ihrer mittlern Bewegung um die Sonne in 88 Tagen beschreiben, in welcher Zeit Merkur einen ganzen Umlauf macht. Es fällt in die Augen, daß nicht bloß die Winkel, sondern auch die Bogen abnehmen, daß also die Planeten sich wirklich langsamer bewegen, je weiter sie von der Sonne sind. Juno kann hier alle vier neuen Planeten vorstellen, zwischen deren Bewegungen die ihrige ungefähr das Mittel hält. Die mittlere Bewegung des Kometen von 1759 folgt unmittelbar aus seiner Periode von $75\frac{1}{2}$ Jahren: es ist die Bewegung die er in der Gegend C und D (2. Fig.) wirklich hat. Diese Bewegung beträgt in einem Tage 47″, in 88 Tagen 1°9′, in einem Jahr 4°46′. Welche große Veränderungen aber die wahre Bewegung der Kometen leide, kann man leicht durch das Verhältniß finden, welches in den beyden Apsiden statt

Geschwindigkeit der Planeten und Kometen. 5. Fig.

findet (Th. §. 133.). Es folgt daraus, daß der Komet von 1759 in der Sonnenferne täglich nur einen Winkel von 3‴,1; in der Sonnennähe aber von 3° 5′ 22″,5 beschreibt: die letztre Geschwindigkeit ist 3608 mal so groß, als die erstre. Der Komet von 1680, dessen mittlere Bewegung in 88 Tagen 9′ ist, hat in seiner Sonnennähe eine so große Geschwindigkeit, daß er damit in einer Stunde 125° durchlaufen würde, da er hingegen in der Sonnenferne in 50 Tagen nur 1″ durchläuft: die erstre Geschwindigkeit ist 531 Millionen mal so groß als die letztre. Da der Komet der Sonne 160 mal näher kömmt als die Erde (Th. §. 159.), so durchläuft er im Perihelium in einer Sekunde 72 Meilen, welches eine Geschwindigkeit gibt, die nur 18 mal größer als die der Erde, etwa 9 mal größer als die des Merkurs, und 563 mal geringer ist, als die des Lichts.

Größe der Trabantenbahnen. 6 — 9 Fig.

§. 21. Die Figuren 6. 7. 8. 9. stellen die einzelnen Systeme der von Trabanten umgebenen Planeten vor, und zwar ist die Größe jeder Trabantenbahn im genauen Verhältniß zur Größe des Haupt-Planeten angegeben: beym Saturn stellt der schattirte Streifen seinen Ring nach eben dem Maasstabe vor. Um indeß die Figuren nicht zu groß zu machen, hat jede einen verschiedenen Maasstab, so daß zwischen den Trabanten-Bahnen verschiedener Planeten nicht das wahre Verhältniß beobachtet ist. Um dieses Verhältniß aller Trabantenbahnen gegen einander so wol, als ihre Lage gegen die

10. Fig. Ekliptik sinnlich vorzustellen, dazu dient die 10te Figur, wo die Entfernung jedes Trabanten von seinem Planeten, so wie die Größe dieses letztern und des Saturns-Ringes, nach demselben Maasstabe ausgedrückt, und ihre wahre Lage gegen die Ekliptik vorgestellt ist.

11. Fig. Die 11te Figur zeigt endlich die verhältnismäßige Größe, in der auf dem Jupiter die Sonne und seine vier Trabanten erscheinen.

Vergleichung der Planeten und Kometen.

§. 22. Die 11 Haupt-Planeten und 18 Trabanten, in allem 29 planetarische d. i. solche Körper, die im Gebiet unsrer Sonne fast kreisrunde Bahnen beschreiben, machen nur einen sehr unbedeutenden Theil von der ganzen Bevölkrung unsers Sonnen-Systems aus. Schon die Zahl von wenigstens 500 Kometen, die sich bisher der Erde gezeigt haben, übertrifft die der Planeten und Trabanten 17 mal; wenn wir aber die Umstände, unter denen Planeten und Kometen uns sichtbar werden können, genauer betrachten, so werden wir uns überzeugen, daß die Zahl der erstern gegen die Menge der letztern ganz verschwindet: wir werden finden, daß die Kometen eigentlich das Volk dieses Staats ausmachen, in welchem die Sonne den königlichen Thron einnimt, der beständig von der glücklicheren Klasse seiner wenigen Edlen nebst ihrem Gefolge umgeben ist, und zu dem es nur selten einem aus dem Volke vergönnt wird, aus seiner entfernten Sphäre näher zu treten; wir werden auch hier die weise Einrichtung der Natur bewundern, die zum Besten des Ganzen nur eine geringe Anzahl jener Edlen, die auf Kosten der Menge leben, hervor brachte, weil jeder von ihnen einen Raum erfodert, auf dem mehrere Familien vom Volke, zwar in Dunkelheit, aber vielleicht nicht weniger glücklich leben könnten, so daß sich am Ende zeigen wird, daß sich gerade nur so viele Edle eingedrängt haben, als nöthig waren, den Raum um den Thron herum zu besetzen, den das Volk leer gelassen hatte. Der Leser wird in der Folge bemerken, daß dieses Gleichniß in der That das Verhältniß, welches zwischen den Planeten und Kometen unsers Sonnen-Systems statt findet, bis in die kleinsten Umstände treu darstellt.

Zahl der beobachteten Kometen.

§. 23. Um sich von der wahrscheinlichen Anzahl der Kometen unsers Sonnen-Systems eine richtige Vorstellung zu machen, muß man überlegen, wie viele wirklich beobachtet sind, unter welchen Umständen sie sich gezeigt haben, und was für Umstände überhaupt zu ihrer Sichtbarkeit auf der

Erde erfodert werden. Nach Pingre's kritischen Untersuchungen, die alle Zeitalter und die Kroniken aller Völker umfassen, sind bisher auf der Erde wirklich an 500 Kometen bemerkt, wiewol nicht alle astronomisch beobachtet. Wie sehr man sich aber irren würde, wenn man dies für die wahre Zahl aller Kometen halten wolte, die im ganzen Lauf der Weltgeschichte auf der Erde sichtbar gewesen sind, davon werden uns folgende Fakta überzeugen.

1) So lange man die Kometen für nichts besseres als Irrwische oder Sternschnuppen ansah, dachte man auch nicht daran, sie zu beobachten; und so wie man oft Feuerkugeln in den Verzeichnissen der Kometen aufgeführt findet, so hat man gewiß auch manchen kleinen Kometen für ein Meteor angesehn oder ganz übersehn. In früheren Zeiten, ja in allen Jahrhunderten, wenn man die letzte Hälfte des achtzehnten ausnimt, muste ein Komet sich so zu sagen selbst melden, er muste sich durch seine Größe, Gestalt oder Farbe, besonders aber durch seinen Schweif auszeichnen, um bemerkt, und noch mehr, um in den Jahrbüchern erwähnt zu werden. Wir finden die Nachrichten nicht in der Geschichte der Astronomie, sondern in den Kroniken politischer Begebenheiten, wo nur die großen Kometen einer Stelle gewürdigt sind, die sich dem Aberglauben furchtbar machten; und zu den Zeiten da man die Fernröhre noch nicht kannte, musten selbst den Astronomen alle Kometen entgehn, die nicht durch ihre Größe dem bloßen Auge sehr merklich waren. Wie geringe aber die Anzahl solcher Kometen sey, erhellt daraus, daß vom Jahr 1769 bis 1807, in 37 Jahren, kaum ein Komet erschienen ist, der sich dem bloßen Auge so deutlich zeigte, daß er in jenen früheren Zeiten bemerkt seyn würde; und doch sind in eben diesem Zeitraum 36 Kometen durch Fernröhre entdeckt und beobachtet.

2) Nur seit 50 Jahren hat man angefangen, die Kometen eigentlich zu suchen, und seit dieser Zeit ist fast kein Jahr

vergangen, in dem nicht einer oder zwey Kometen entdeckt wären, so daß man sogar zwey auch drey Kometen zugleich gesehn hat. Wie ungeheuer würde die Zahl der bereits bekannten Kometen seyn, wenn man seit 4000 Jahren dieselbe Aufmerksamkeit auf diesen Gegenstand gewandt hätte, wie in den letzten 50 Jahren! Jetzt, da der Fleiß der Astronomen durch vollkommenere Werkzeuge unterstützt wird, kann man sicher rechnen, daß jedes Jahr die Menge der beobachteten Kometen um einen vermehrt; und dieser Anwachs kann nur nach vielen Jahrhunderten aufhören, wenn alle Kometen ihren Lauf um die Sonne vollendet haben, und zum zweyten oder dritten Mal anfangen. Wider alle Vernunft wäre es, sich eine solche Einrichtung unsers Sonnen-Systems vor zu stellen, daß alle Kometen gerade in den letzten 50 Jahren ihr Perihelium erreicht hätten; ohne Zweifel war die Erndte aller Zeiten gleich ergiebig, nur an Schnittern fehlte es. Der erste Komet der mit einiger Sorgfalt beobachtet ist, so daß man seine Bahn berechnen konnte, ist der von 837; und in den folgenden 863 Jahren bis 1700 sind nur 37 beobachtet. Nun wurden die Kometen den Astronomen wichtiger, nachdem Newton bewiesen hatte, daß sie denselben Gesetzen wie die Planeten folgen, und gleich ihnen zur Sonne zurück kehren; und in der ersten Hälfte des achtzehnten Jahrhunderts wurden 15 beobachtet, also etwa alle 3 Jahre einer, da in jener Periode nur in 23 Jahren einer beobachtet war. Vom Jahr 1757 an, da man anfing sich mit ihrer Aufsuchung zu beschäftigen, und besserer Instrumente zu bedienen, sind 48 neue Kometen beobachtet, ungefähr jährlich einer, so daß jetzt überhaupt 100 Kometen-Bahnen berechnet sind; und selbst in dieser Periode nimt ihre Zahl in den letzten Jahren mit der größeren Sorgfalt zu, die darauf verwandt wird. Die Entdeckung eines neuen Kometen ist jetzt etwas so alltägliches, daß man ohne Uebertreibung annehmen kann, daß zu jeder Zeit einer oder mehrere dieser Weltkörper am Himmel umher

irren, die uns durch das Fernrohr sichtbar seyn würden, wenn ein glücklicher Zufall es in diese Gegend führte.

Gleichförmige Vertheilung der Kometenbahnen.

§. 24. Nach diesem Verhältnisse würde selbst die Zahl der Kometen, die der Erde sichtbar sind, alle Gränzen übersteigen. Wenn wir uns aber auch nur auf die 500 wirklich beobachteten einschränken, und zugleich bedenken, wie viele unbemerkt geblieben sind, weil sie eine zu südliche Lage hatten, um über unsern Horizont zu kommen, oder weil sie bey Tage oder bey trübem Wetter über dem Horizonte waren, oder endlich weil sie der Sonne nicht nahe genug kamen, um uns sichtbar zu werden: so werden wir uns leicht überzeugen, daß die Zahl der wirklichen Kometen ohne Vergleich größer seyn muß; und eine genaue Rechnung wird eine über alle Erwartung große Zahl geben. Diese Rechnung muß natürlich von dem Grundsatz ausgehn, daß die Kometen-Bahnen gleichförmig im Weltraum vertheilt sind, daß kein Theil des Raums vor den andern einen Vorzug hat, und daß die Bahnen ihrer Lage und Größe nach wirklich desto häufiger vorkommen, je größer die Zahl der möglichen Fälle ist: ein Grundsatz der nicht allein allen Regeln der Wahrscheinlichkeit gemäß ist, sondern auch durch die Erfahrung bestätigt wird. Unter den 95 Kometen die wir bey dieser Rechnung zum Grunde legen, laufen z. B. 48 vorwärts, und 47 rückwärts; auch sind die Ebnen ihrer Bahnen gleichförmig vertheilt, so daß jeder Winkel von 10 zu 10 Graden eine gleiche Anzahl von Bahnen einschließt.

Vertheilung der Sonnennähen.

§. 25. Um nun die wahrscheinliche Zahl der Kometen aus den wirklich beobachteten her zu leiten, soll uns dasjenige Element dienen, welches die Kometen-Bahnen am wesentlichsten von einander unterscheidet: und dies ist unstreitig die Größe der Bahn, oder da diese fast bey allen Kometen unbekannt ist, die kleinste Entfernung von der Sonne im Perihelium, da sie zugleich der Erde sichtbar werden. Die Länge der Knoten, ihre Neigung gegen die Ekliptik, ꝛc. haben bloß

eine Beziehung auf die Erdbahn, und sind in Rücksicht auf den Kometen selbst ganz unbedeutend. Allein seine größre oder geringere Annäherung zur Sonne zeichnet nicht allein seine Bahn, und besonders seine Durchfahrt durch die Planeten-Bahnen wesentlich aus, sondern bestimmt den höheren Grad der Hitze, vielleicht die Auflösung seiner Materie, ja sein Klima auf Jahrhunderte.

Von 95 Kometen deren Bahnen berechnet sind, fielen 20 Perihelien zwischen der Sonne und der Merkurs-Bahn, 36 zwischen ☿ und ♀, 20 zwischen ♀ und ♁, 15 zwischen ♁ und ♂, 4 zwischen ♂ und ♃, aber jenseit der Jupiters-Bahn keines. Was hiebey sogleich auffällt, ist, daß die Zahl der sichtbaren Kometen in dieser Folge anfänglich zu, bald aber wider abnimt, so daß die gröste Sichtbarkeit in die Perihelien fällt, die zwischen ☿ und ♀ liegen, oder genauer, die halb so weit als die Erde von der Sonne entfernt sind. Der Grund hievon liegt nicht darin, daß es in der That mehr Perihelien in dieser Gegend gibt — denn hievon wäre gar keine Ursache denkbar — sondern daß die Kometen, die diese Lage haben, uns leichter sichtbar werden als die übrigen. Ihre Sichtbarkeit hängt nämlich überhaupt von zwey Umständen ab, von ihrer Annäherung zur Sonne und zur Erde; erstre gibt ihnen ein stärkeres Licht, letztre vermehrt ihre scheinbare Größe: es ist also natürlich, daß ihre gröste Sichtbarkeit in die Mitte zwischen der Sonne und Erde fällt, bey welcher Lage die Kometen auch am längsten in der Nähe der Erde verweilen. Man sieht ferner, daß nur diejenigen der Erde sichtbar werden, die der Sonne näher kommen als Jupiter: denn noch ist keiner beobachtet, dessen Perihelium außer der Jupiters-Bahn fällt. Endlich sieht man, daß die Zahl der Perihelien, die innerhalb der Venus-Bahn fallen, nämlich 56, sich zu den 20 innerhalb der Merkurs-Bahn, fast wie 3 zu 1 verhalten: und so verhalten sich auch die Quadratzahlen der Entfernungen dieser beyden Planeten von

der Sonne, nämlich 0,72 und 0,39. Da nun die Geometrie dasselbe lehrt, daß, wenn die Kometen gleichförmig vertheilt sind, und kein Raum unnütz verschwendet ist, die Anzahl der Perihelien in jeder Entfernung von der Sonne sich wie das Qvadrat dieser Entfernung verhalten müsse, so darf man wohl annehmen, daß dieses Verhältniß in der That statt findet, wenn es gleich über die Erdbahn hinaus der Erfahrung zu widersprechen scheint, weil hier die Sichtbarkeit der Kometen schnell abnimt, und bald ganz aufhört. Dieses Verhältniß soll uns daher zur Bestimmung der wahrscheinlichen Anzahl der Kometen unsers Sonnen-Systems dienen.

Wahrscheinliche Anzahl der Kometen.

§. 26. Wie weit die 56 Perihelien, die innerhalb der Venus-Bahn beobachtet sind, hinter der Zahl der wirklich in dieser Gränze liegenden zurück bleiben, davon werden uns folgende Betrachtungen überzeugen. Zur Sichtbarkeit eines Kometen wird erfodert, 1) daß er der Sonne und Erde nahe genug komme, um Licht und Größe genug zu haben, 2) daß er bey Nacht erscheine, 3) daß seine Nächte heiter seyn, 4) daß er weit genug vom Süd-Pol entfernt sey, um sich über dem Horizont der europäischen Astronomen zu erheben. Der ersten Bedingung geschieht dadurch Genüge, daß hier nur solche Kometen betrachtet werden, die innerhalb der Venus-Bahn treten. Da aber die Tage nebst der Dämmerung den weit größern Theil des Jahres einnehmen, da es ferner mehr trübe als heitre Nächte gibt, so muß man die Zahl so wol wegen des 2ten als 3ten Umstands verdoppeln, also überhaupt vierfach nehmen. Der 4te Umstand macht uns wenigstens den fünften Theil der Kometen unsichtbar, daher wir ihre Zahl sicher fünffach nehmen können. Endlich folgt aus §. 23. daß diese 95 Kometen mit dem Fleiße der neuern Astronomen in weniger als 100 Jahren beobachtet seyn würden. Nimt man nun auch nur an, daß jeder Komet im Durchschnitt seine Bahn um die Sonne in 300 Jahren beschreibt, so daß nach 300 Jahren dieselben Kometen wider kehren, so folgt, daß,

wenn man die Kometen immer wie jetzt aufgesucht hätte, wenigstens dreymal so viele beobachtet wären. Man muß also die wirklich beobachtete Zahl, die aus den obigen Gründen schon fünffach zu nehmen war, nochmals mit 3, also überhaupt mit 15 multipliziren: so daß innerhalb der Venus-Bahn 15 mal 56 oder 840 Perihelien liegen. — Wiewol es nun unmöglich ist, die Gränze an zu geben, über welche heraus keine Perihelien mehr liegen, so wird man es doch gewiß nicht übertrieben finden, wenn wir diese Gränze wenigstens so weit als die Perihelien der Planeten annehmen, oder sie der Entfernung des äußersten sichtbaren Planeten (♅) gleich setzen, der 19 mal so weit von der Sonne entfernt ist als die Erde, oder 27 mal so weit als Venus. Wenn man nun die Zahl der Perihelien innerhalb der Venus-Bahn (840) mit 729, als dem Quadrat von 27 multiplizirt, so erhält man 612360 Perihelien innerhalb der Uranus-Bahn: man darf also wol annehmen, daß unsre Sonne von einer Million Kometen umgeben ist, die ihr auf ihrer Bahn durch das Universum (Th. §. 95.) als Trabanten folgen.

Ersparung des Raums.

§. 27. Die eben geführte Rechnung gibt wahrscheinlich die Menge der Kometen ehr zu geringe als zu groß an; allein selbst denjenigen dem sie übertrieben scheint, muß sie wenigstens davon überzeugen, daß die Zahl der Kometen die der Planeten so sehr übertrifft, daß diese ganz dagegen verschwindet; und man wird fragen, welcher Zweck oder was für eine physische Ursache der Grund von diesem auffallenden Vorzuge seyn könne, den die Natur den Kometen vor den Planeten gegeben zu haben scheint. Da wir mit Gewißheit keinen andern Unterschied zwischen diesen Weltkörpern kennen, als die verschiedene Form ihrer Bahnen, so läst sich diese Frage so ausdrücken: warum gibt es ohne Vergleich mehr länglichte Ellipsen als kreisrunde Bahnen? Die Beantwortung dieser Frage liegt theils in jener weisen Einrichtung, die ein allgemeines Gesetz der Natur zu seyn scheint, keinen Raum

unbenutzt zu lassen, sondern in jedem gegebenen Raum so viel Weltkörper als möglich an zu bringen, theils in der Bestimmung des Weltgebäudes zu ewiger Dauer. Durch die allgemeinen Gesetze der Mechanik werden die planetarischen Bewegungen in ununterbrochener Ordnung fortgesetzt werden, wenn nicht durch eine zu große Annäherung zweyer Weltkörper die schöne Harmonie gestört, oder durch ihren Stoß auf einander das Ganze zertrümmert wird. Ein solcher Zufall setzt voraus, daß zwey Planeten oder Kometen zugleich in demselben Punkt eintreffen, daß folglich ihre Bahnen wirklich einen gemeinschaftlichen Punkt haben. Es ist hier nicht die Rede von den Ebnen ihrer Bahnen, die nothwendig zwey gemeinschaftliche Punkte (die Knoten) haben müssen: denn zwey an Größe verschiedene Bahnen können sogar ganz in derselben Ebne liegen, ohne daß sie sich je nähern; so kann z. B. Jupiter, dessen Bahn mit der unsrigen fast in derselben Ebne liegt, doch der Erde nie näher kommen, als 4 Halbmesser der Erdbahn. Es müssen vielmehr die Bahnen selbst, die Ellipsen einander schneiden; und es scheint, daß die Natur solche Durchschnitspunkte sorgfältig vermeiden muste, um das Ganze zu erhalten. Nun ist es offenbar, daß sich um denselben Mittelpunkt nicht zwey Kreise von gleicher Größe legen lassen, ohne daß sie sich in zwey Punkten schneiden, wie verschieden auch die Lage ihrer Ebnen seyn mag; da sich hingegen um denselben Brennpunkt unzählige gleich große Ellipsen legen lassen, ohne sich zu berühren, weil sie sich gleich den Gliedern einer Kette in einander hängen lassen. Jede Planeten- oder kreisförmige Bahn, in deren Mittelpunkt sich die Sonne befindet, erfodert also eine verschiedene Größe oder Entfernung von der Sonne, und die Natur hat bis zu den äußersten uns bekannten Gränzen nur für 7 oder 11 Planetenbahnen Raum gefunden. Die vier neuen Planetenbahnen, die fast gleiche Entfernung von der Sonne haben, sind kein Einwurf hiegegen: denn nur ihre große Ekzentrizität, wodurch sie sich so

sehr von den übrigen Planeten unterscheiden, macht es ihnen möglich, ihre Bewegung um die Sonne ungestört fort zu setzen (§. 18.). Wäre also das Gebiet der Sonne bloß mit Planeten angefüllt worden, so hätte ihre Anzahl nur sehr geringe seyn können. In der Entfernung der Erde von der Sonne z. B. läst sich nur eine Planetenbahn legen; allein in eben dieser Entfernung können so viele Perihelien sehr länglichter Bahnen liegen, als es auf der Kugelfläche von diesem Halbmesser Punkte gibt, ohne daß sich die nach allen Gegenden des Himmels erstreckende Bahnen zu nahe kommen. Die große Axe jeder Bahn kann in einer andern Richtung und Ebne gelegt werden, und dadurch den übrigen ausweichen.

Warum die Planetenbahnen fast in derselben Ebne liegen.

§. 28. Dies ist der Grund, warum der unserm Sonnen-System angewiesene Raum nur von sehr wenigen Planeten, aber von unzähligen Kometen bevölkert werden konnte; und dies ist auch wahrscheinlich der Grund, warum die Natur den letztern vor den erstern den Vorzug geben muste, um den Raum so viel möglich zu benutzen. Eben diese weise Sparsamkeit der Natur zeigt sich noch in einem andern Umstande, der sonst nicht leicht zu erklären seyn würde. In einer und derselben Ebne können, ohne auf einander zu stoßen, nur Bahnen liegen, die einander einschließen: die Kometen-Bahnen, deren Sonnenfernen jenseits aller Planeten liegen, können daher in der Ebne keiner Planetenbahn liegen, es sey dann, daß auch ihre Sonnennähe außerhalb derselben fällt. So kann in der Ebne der Uranus-Bahn kein Komet laufen, der der Sonne näher als 19 Halbmesser der Erdbahn kömmt, weil er jene Bahn da, wo er diese Entfernung erreicht, zweymal durchschneiden würde; und überhaupt die Ebne jeder Planetenbahn ist allen Kometen unzugänglich, die der Sonne näher kommen als dieser Planet: es gehn also so viele Ebnen für die Kometen verloren, als es Planeten gibt. Da demnach die Ebne der Uranus-Bahn für alle Kometen, wenigstens für alle die der Sonne näher als Uranus kommen, un-

brauchbar ist, so war es eine sehr weise Einrichtung, auch die übrigen Planetenbahnen fast in dieselbe Ebne zu legen, damit nicht noch mehr Raum für die Kometen verloren ginge. In der That nehmen die obern Planeten mit der Erde bis auf 1 oder 2 Grad dieselbe Ebne ein; nur Merkur und die vier neuen Planeten machen hier eine Ausnahme, zugleich aber zeichnen sich diese Planeten vor den übrigen durch ihre große Ekzentrizität so sehr aus, daß sie fast eine Nüance zwischen den Planeten und Kometen bilden. Um nun den von den Planeten nicht usurpirten Raum zu benutzen, müssen alle übrigen Ebnen mit Kometenbahnen angefüllt werden, sie müssen den Himmel in allen möglichen Richtungen und Lagen durchkreutzen, d. h. ihre Sonnenfernen oder großen Axen müssen nach allen Punkten des Himmels herum gelegt seyn, und ihre Ebnen alle möglichen Neigungen gegen die Ekliptik haben. Daß dies wirklich statt findet, haben die Beobachtungen bewiesen (§. 24.).

Wie sehr übrigens die Natur für die gegenseitige Ausweichung der Weltkörper gesorgt habe, beweist auch folgendes. Ein Komet dessen Perihelium zwischen Uranus und Saturn liegt, hat sich nur vor dem Uranus allein zu hüten; je näher er aber der Sonne kömmt, desto mehr Planetenbahnen begegnet er, die er zu vermeiden hat, und desto bedenklicher wird seine Lage. In der That machen die Bahnen der nahen Kometen mehrentheils sehr große Winkel mit der Ekliptik, wodurch sie desto schneller von der gefährlichen Nachbarschaft der Planeten befreyt werden. Auch ist unter allen uns bekannten Kometen nur einer wirklich der Erde näher gekommen als der Mond, und zwar um nicht völlig den vierten Theil, so daß der Komet, der der Erde am nächsten gekommen ist, doch noch 42000 Meilen von ihr entfernt blieb. Nur 30 kamen der Erde näher als der nächste Planet Venus, alle übrigen hielten sich in viel größern Entfernungen. Es scheint also, die Erdbewohner können wegen solcher Gefahren und

Revolutionen, die ihnen von außen drohen, vollkommen ruhig seyn. Möchten sie sich nur nicht selbst das Leben verbittern, oder verbittern lassen! Möchte der Wille des Urhebers der Natur auf der Erde so treu erfüllt werden, als am Himmel!

Größe des Sonnensystems.

§. 29. Unter den Kometen, deren Umlaufszeit wir mit Gewißheit kennen, entfernt sich keiner weiter von der Sonne, als der von 1680: seine Periode von 575 Jahren (Th. §. 157.) beweist nach dem dritten Keplerschen Gesetze, daß er sich 69 mal so weit als die Erde, oder $3\frac{1}{2}$ mal so weit als Uranus, von der Sonne entfernt. Die freylich wenig zuverlässige elliptische Berechnung macht es wahrscheinlich, daß viele der bereits beobachteten Kometen sich beträchtlich weiter von der Sonne entfernen; und selbst der schöne Komet, den wir alle am Ende des Jahrs 1807 gesehen haben, scheint in mehr als 1500 Jahren einen Umlauf um die Sonne zu machen (Th. §. 159.), woraus eine Entfernung von 131 Halbmessern der Erdbahn folgt. Allein dies sind nur diejenigen, die sich durch ihre große Sichtbarkeit und Annäherung an die Sonne vor den übrigen auszeichnen; sie sind unter den Kometen das, was wir unter den Planeten die untern nennen: die obern Kometen, deren Anzahl und Entfernung die der sichtbaren wahrscheinlich bey weitem übertrifft, werden uns immer unbekannt bleiben. Es ist uns daher unmöglich, die Gränzen unsers Sonnen-Systems zu bestimmen: nur das scheint ausgemacht, daß sie sich wenigstens auf 400 Halbmesser der Erdbahn oder 8000 Millionen geographischer Meilen, wahrscheinlich aber viel weiter erstrecken (Th. §. 82.): eine Entfernung die so groß ist, daß das Licht, unerachtet seiner ungeheuren Geschwindigkeit, doch mehr als 2 Tage gebraucht, um von der Sonne zum fernsten Kometen zu gelangen. Da nun die Kometenbahnen nach allen möglichen Richtungen um die Sonne gelegt sind, so müssen wir uns unser Sonnen-System wie eine Kugel, oder vielmehr wie eine Armillar-

Sphäre vorstellen, deren Durchmesser wenigstens 400 mal so groß ist, als der Durchmesser der Erdbahn, also 16000 Millionen geographischer Meilen beträgt.

Die vereinigten Massen aller Planeten übertreffen an Größe die Erde 2338 mal, die Sonne allein ist 1'304163 mal größer als die Erde (§. 11.). Wenn man also eine Million Kometen annimt, die im Durchschnitt der Erde an Größe gleich sind, so machen alle Planeten und Kometen, zu einer Masse vereinigt, nur etwa $\frac{3}{4}$ von der Größe der Sonnenkugel aus; aller materieller Stoff unsers Sonnen-Systems, zu einer Masse vereinigt, würde eine Kugel bilden, die 2 bis 3 Millionen mal so groß wäre als unsre Erdkugel, und der Durchmesser der Sonne, wenn sie alle Massen ihres Gebiets in sich aufnähme, würde nur um den fünften Theil größer werden.

Drittes Kapitel.

Größe des Universums.

Inhalt des Kapitels.

§. 30. Schon die Ueberschrift dieses Kapitels würde vermessen seyn, wenn hier unter „Größe" eine wirkliche Bestimmung der Gränzen oder des Maasstabes verstanden würde. Der 29. §. hat gezeigt, daß es uns unmöglich ist, in diesem Sinne die Größe auch nur unsers eignen Sonnen-Systems an zu geben; und wir wolten das Weltall ausmessen? Ein endliches Wesen wolte den Zirkel, den der Unendliche nach der Vollendung seines Werks aus der Hand warf, aufnehmen und Ihm nach messen? Wie solte unser beschränkte Verstand nur den Begrif von dem Tempel, den die Allmacht sich schuf, fassen können? — Der Zweck dieses Kapitels ist im Gegentheil, zu beweisen, daß es die Kraft der feurigsten Imagi-

nation übersteigt, sich zu jenem Bilde empor zu schwingen, und daß die ungeheuerste Größe die wir uns denken können, für diesen Plan noch immer ein zu kleiner Maasstab wäre, wenn er auch noch so oft um geschlagen würde. Wenn die Himmel die Ehre Gottes erzählen, wenn die Sterne die Karaktere sind, mit denen der Schöpfer am Firmament seine Größe und Weisheit sterblichen Augen beschrieben hat, so ist es der edelste Gebrauch unsrer Vernunft, diese Flammen-Schrift, so viel es in unsern Kräften steht, zu entziffern. Vielleicht ist alles was wir bis jetzt vom Weltall kennen, die gröste Ferne in die unser Auge reicht, nur der erste Schritt in die Halle dieses Tempels; und wenn wir mit jeder neuen Entwicklung, mit jeder neuen Vollkommenheit unsers Geistes, auch einen Schritt weiter gehn, so wird doch kaum die Ewigkeit hinlänglich seyn, uns durch das Ganze zu führen. Allein solte uns das abschrecken, wenigstens auf diesem ersten Schritt uns sorgfältig um zu sehn? Ist es nicht vielmehr Pflicht, das was wir in unserm jetzigen Daseyn, mit unsern jetzigen Verstandeskräften, mit unsern jetzigen Sinnen übersehen können, genau zu untersuchen? Die Leser werden, ehr sie an das Ende dieses Kapitels gekommen sind, erstaunen über das was dieser erste Schritt umfaßt, und über die ungeheure Ferne in die unser jetziges Auge dringt; und wenn wir gleich den Gränzen des Ganzen damit nicht merklich näher gekommen sind, wenn wir gleich noch unzählige Stufen zu ersteigen haben, ehr wir einen Blick in das Allerheiligste selbst werfen können, wer ist würdig die folgenden Schritte zu thun, wenn er den ersten nicht benutzt hat? wer kann sich unterfangen, die Schrift zu lesen, von der er die Buchstaben nicht lernen wolte? und wie wollen wir den Glanz der mittägigen Sonne ertragen, wenn wir unser Auge in der Dämmerung nicht geübt haben? Wie wenig ist das, was wir noch vor 100 Jahren vom Himmel kannten, gegen das was das geschärftere Auge besonders in den letzten Jahren entdeckt hat!

Wenn wir auch nicht hoffen dürfen, aus unserm jetzigen Standpunkt je weiter dringen zu können, so werden wir doch den Gegenstand, den unser Blick bereits umfaßt, der Bewunderung und Anbetung würdig finden; nur müssen wir nicht vergessen, daß dies ein schwacher Schimmer von dem unendlichen ist, welches weit jenseits vielleicht noch lange unsern Augen verhüllt seyn wird.

Menge der einzeln vertheilten Sterne,

§. 31. Um sich einen Begrif von der Größe des Weltgebäudes zu machen, ist es natürlich, mit dem leichtern an zu fangen: und das scheint die Menge der Sterne zu seyn, welche sich ohne Messung und Rechnung durch bloßes Aufzählen finden läst. Allein die Sache ist nicht so leicht wie sie scheint, und eine genaue Aufzählung ist wegen der großen Menge der Sterne wirklich unmöglich, so daß wir auch hier uns auf die Bestimmung eines Minimum einschränken müssen, welches von der wirklichen Zahl sogar der sichtbaren Sterne vielleicht bey weitem übertroffen wird. Das festeste Auge und die stärkste Abstraktion ist kaum im Stande, eine beträchtliche Menge von Münzen, die unordentlich unter einander liegen, zu zählen: man ist gezwungen, sie theilweise in die Hand zu nehmen, oder reihweise zu ordnen. Das letztre können wir mit den Sternen nicht vornehmen, aber wohl das erstre: wir nehmen eine Hand voll, indem wir die Menge, die in einem Augenblick das Feld des Fernrohrs anfüllt, von den übrigen absondern. Allein auch dies hat große Schwierigkeit: die tägliche Bewegung, die die Sterne schnell fortreißt, erlaubt uns nicht sie einzeln zu zählen, sondern nur einen flüchtigen Blick darauf zu werfen. Indeß gibt es auch hier Mittel, wodurch ein geübtes Auge, indem es der Bewegung der Sterne folgt, ihre wahre Zahl ziemlich genau bestimmen kann; und die bisher vorgenommenen Zählungen werden uns wenigstens einen schwachen Begrif von der unzähligen Menge der Sterne geben.

Es gibt über 5000 dem bloßen Auge sichtbare Sterne d. h bis zur 6ten Größe, die sich über den Pariser Horizont

erheben, alſo am ganzen Himmel etwa 7000. Mit der 7ten Größe nimt ihre Menge ſehr ſchnell zu, und jene Zahl verſchwindet gegen das Heer von Sternen, die ein gutes Fernrohr zeigt. Man hat in Paris bereits 50000 Sterne von der 1ten bis 9ten Größe aſtronomiſch beobachtet: und dieſe Muſtrung erſtreckt ſich nur bis zum ſüdlichen Wendekreiſe, ſo daß hiernach die ganze Sphäre etwa 70000 Sterne bis zur 9ten Größe enthalten würde, ohne die zu rechnen, die dem Beobachter entgangen ſind. Die von der 10ten Größe, und die noch kleineren teleſkopiſchen Sterne ſind ohne Zweifel weit zahlreicher.

und der Sterne in der Milchſtraße.

§. 32. Man würde ſich eine ſehr unvollſtändige Vorſtellung von der Größe des Univerſums machen, wenn man jene Million von Sternen, die einzeln, und wie es ſcheint, ohne alle Ordnung und Zuſammenhang über den ganzen Himmel zerſtreut ſind, als die ganze Bevölkrung deſſelben anſähe. Wir werden uns bald überzeugen, daß dies nur die nächſten Sterne ſind, die mit unſrer Sonne gemeinſchaftlich eine von den unzähligen Gruppen bilden, mit denen der Himmel überſäet iſt; wir werden ſehn, daß ihre Zahl gegen diejenigen gar nicht in Betracht kömmt, von denen wegen ihrer großen Entfernung, und der ungeheuren Menge in der ſie ſchichtenweiſe zuſammen gedrängt ſind, nur ein matter Schimmer in unſer Auge dringt. Die aufgeklärteſten der alten Philoſophen vermutheten ſchon, daß das nie erlöſchende, unbewegliche und unveränderliche Licht der Milchſtraße von unzähligen Sternen entſtehen müſſe, die wegen der großen Entfernung einander ſo nahe ſcheinen, daß ihr Licht zuſammen fließt, und wir ſie nicht einzeln unterſcheiden können (*). Die Neuern zweifelten nicht an der Richtigkeit dieſer Erklärung, obgleich ſie

---

(*) z. B. Demokrit. S. *Plutarch. de Placit. Philoſ. Lib. III. Cap. 1.*

selbst durch die stärksten Fernröhre in der Milchstraße nicht mehr einzelne Sterne entdeckten, als an andern Sternen des Himmels. Hn. Herschel gelang es endlich, durch die Vergrößrung und Lichtstärke seines 20füßigen Teleskops, den Schimmer der Milchstraße vollkommen in kleine Sterne auf zu lösen, die sich einzeln von einander unterscheiden lassen: auch bemerkte er in der That, daß jede Stelle der Milchstraße desto sternreicher ist, je glänzender sie dem bloßen Auge erscheint. Es ist jetzt nicht mehr Vermuthung, sondern durch die Beobachtungen bewiesene Wahrheit, daß jenes glänzende Gewölbe, jene funkelnde Straße, auf der die griechischen Heroen sich dem Palast des Vaters der Götter und Menschen näherten (*), nichts anders ist als das verworrene Licht vieler Millionen Sterne, die in ungeheuren Fernen hinter und neben einander liegen, ein das Firmament gleich dem Regenbogen umgebender Lichtbogen, in dem jedes Pünktchen nicht ein Regentropfen sondern ein Funken ist, und jeder Funken eine Sonne von Millionen Planeten und Kometen umgeben. Alle diese Tropfen einzeln aufzählen zu wollen, würde ein eben so thörichtes Unternehmen seyn, als den Sand am Meer zu zählen. Um sich einigermaßen einen Begrif von der unzähligen Menge der Sterne zu machen, die den Schimmer der Milchstraße hervor bringen, muß man ungefähr so verfahren, wie man verfahren würde, um die Menge der Sandkörner in einem Berge zu bestimmen, oder wie Archimedes verfuhr, um die Menge der Sandkörner zu berechnen, aus denen die ganze Erdkugel zusammen gesetzt ist. Man füllt ein sehr kleines aber genaues Maaß mit Sand, zählt die darin enthaltenen Körner, und nimt diese Zahl so oft, als jenes Maaß in der Größe des ganzen Berges oder der Erd-

---

(*) *Ovid. Metam. I.* 170. "Hae iter est superis ad magni regna "tonantis Regalemque domum."

kugel enthalten ist. Zu einem solchen kleinen Maaße diente Hn. Herschel das genau bestimmte Feld seines Teleskops. Da aber leicht zu vermuthen war, daß nicht alle Stellen der Milchstraße gleich reich an Sternen sind, so hat dieser unermüdete Beobachter an 3000 Felder seines Teleskops überzählt, wovon manche an 500 Sterne enthielten. Auf diese Art fand er im Durchschnitt, daß ein Raum der Milchstraße von 2° Breite und 15° Länge nicht weniger als 50000 Sterne enthielt, die noch groß genug waren, um deutlich gezählt zu werden, und wenigstens 100000, die wegen ihres zu schwachen Lichts nicht gezählt werden konnten. Da nun die Milchstraße im Durchschnitt eine Breite von wenigstens 12° hat, und sich über den ganzen Himmel durch 360° erstreckt, so würde dies wenigstens 20 Millionen in der Milchstraße geben.

Nebelflecke.

§. 33. Die Bemerkung die im Anfange des vorhergehenden §. gemacht ist, muß auch hier widerholt werden, so wie überhaupt bey jeder neuen Kenntniß die wir uns in der Sternkunde erwerben. Die Menge der Sterne in der Milchstraße, wenn wir sie auch genau bestimmen könnten, würde uns bey weitem nicht einen hinlänglichen Begrif von der Unermeßlichkeit auch nur desjenigen Theils vom Universum geben, den unser Auge erreichen kann. Es ist höchstens eine Probe von der Reichhaltigkeit des Himmels, an einem Fleck desselben angestellt, und die Milchstraße kann nur zu jenem Maaße dienen, in dem die Sandkörner gezählt sind, um den Inhalt des Ganzen zu berechnen: sie ist in Beziehung auf den ganzen Himmel, was das Feld des Herschelschen Teleskops im Verhältniß gegen die Milchstraße war. Noch fehlt uns der Faktor, mit dem dieses Probemaaß multiplizirt werden muß; wir wissen nicht, wie viele Sternhaufen der Milchstraße gleich, über dem Himmel verbreitet liegen: denn selbst, wenn man den ganzen noch übrigen Raum des Himmels in eben dem Verhältnisse mit Sternen anfüllte, so würde man doch vielleicht der Wahrheit nicht nahe kommen. Der große

Kreis den die Milchstraße um uns schließt, macht es wahrscheinlich, und wir werden uns bald davon überzeugen, daß sie nur den oder diejenigen Sternhaufen enthält, die uns die nächsten sind, und eben daher einen so großen Raum ein zu nehmen scheinen. Es ist offenbar, daß, wenn die Milchstraße tausendmal weiter von uns entfernt wäre, die einzelnen Sterne die man jetzt noch in ihr entdecken kann, in eben dem Verhältniß an Licht verlieren und näher zusammen rücken würden: das Ganze würde endlich zu einer kleinen matt schimmernden Wolke einschrumpfen, in der sich keine einzelnen Sterne mehr entdecken lassen, oder doch nur mit weit stärkeren Vergrößrungen. Wenn unser Auge von der Milchstraße nur um einen Durchmesser derselben entfernt wäre, so würde sie uns nur noch unter einem Winkel von 60° erscheinen, nicht viel größer als das Gestirn des großen Bären, in einer Entfernung von 10 Durchmessern würde sie nur unter einem Winkel von 2° 52′ erscheinen, ungefähr so groß wie das Siebengestirn, und auf 100 Durchmesser unter einem Winkel von 17′, also kleiner als der berühmte Nebelfleck in der Andromeda. Sie würde in dieser Entfernung dem bloßen Auge unsichtbar seyn, und durch gewöhnliche Fernröhre als ein Wölkchen von schwachem Licht erscheinen, so wie dieses Wölkchen umgekehrt wider die Gestalt, die Größe und den Schimmer der Milchstraße annehmen würde, wenn wir ihm nahe genug wären. Wenn man nun in der That am Himmel solche kleine Lichtmassen, denen die Astronomen den Namen Nebelflecke gegeben haben, entdeckt, muß man dann nicht schließen, daß sie nichts anders sind, als Milchstraßen, die wenigstens um 100 ihrer Durchmesser von uns entfernt sind?

Der erste der bemerkt ist, und zwar, obgleich er dem bloßen Auge sichtbar ist, nur erst nach Erfindung der Fernröhre (1612 von Simon Mayer), ist der schöne Nebelfleck im Gürtel der Andromeda, der die Form zweyer an der Basis vereinigten Dreyecke oder Kegel hat: der längste Durch-

messer durch die Spitze beyder Kegel hält 40′, der darauf senkrechte durch die gemeinschaftliche Basis nur 15′. Der merkwürdige Nebelfleck im Schwert Orions, der nur halb so groß ist, ward ein halbes Jahrhundert später von Huygens entdeckt. Die Astronomen hatten sich bisher mit diesem wichtigen Gegenstand am Himmel nicht besonders beschäftigt, sondern sie nur zufällig entdeckt, und dann in die Stern-Katalogen eingetragen; wodurch nach und nach ein Verzeichniß von 100 Nebelflecken entstanden war. Allein seit etwa 50 Jahren hatte man angefangen, sie aus dem rechten Gesichtspunkt an zu sehn, und den erhabenen Rang zu erkennen, den sie im Weltgebäude einnehmen. H. Herschel hat seit vielen Jahren diese entfernten Milchstraßen am ganzen Himmel aufgesucht, und bereits 3000 derselben entdeckt. Man kann sich hieraus eine Vorstellung machen, wie ungeheuer die Zahl derjenigen seyn muß, deren durch die zu große Entfernung geschwächtes Licht unser Auge, selbst mit den stärksten Vergrößrungen, nie empfinden wird. Von den meisten dieser Nebelflecken löste sich der milchfarbige Schimmer, durch das Herschelsche Teleskop, in einzelne helle Punkte auf, die aber wahrscheinlich nur Haufen mehrerer näher zusammen stehender Sterne, oder kleinere Systeme von Sonnen waren. Es ist also kein Zweifel, daß es wirklich Milchstraßen, oder Systeme unzähliger Sterne sind, obgleich es Hn. Herschel nicht gelungen ist, sie alle in Sterne auf zu lösen.

Nähere Betrachtung des Ganzen.

§. 34. So bedeutend uns auch die Schritte scheinen mögen, die wir bisher in den Tempel der Allmacht gethan haben, so entfernt sind wir doch wahrscheinlich noch von der Gränze, ja selbst vom Mittelpunkt. Die Betrachtung der Bahnen unsrer Erde, der uns verschwisterten Planeten, und der in unsre Nachbarschaft eindringenden Kometen, gab uns Anlaß, die unzählige Menge von Weltkörpern zu ahnen, die unser Sonnensystem ausmachen. Hieraus lernten wir, in jedem der Myriaden einzelner Sterne, mit denen der Him-

mel nach allen Seiten bedeckt ist, ein ähnliches System zu sehen. Von einzelnen Sternen erhoben wir uns zur Milchstraße, und fanden endlich Tausende von Milchstraßen über dem Himmel zerstreut. Obgleich unser Auge nicht weiter dringt, so sind dies wahrscheinlich doch nur die untersten Stufen einer Leiter, deren Ende wir nie erreichen werden. Von hier an wird alles Gegenstand der Fantasie, die so wenig Gränzen hat, als vielleicht das Weltall selbst. Statt aber solchen Träumen, so angenehm sie auch nicht bloß dem Dichter, sondern auch dem Philosophen seyn mögen, nach zu hängen, oder die Einbildungskraft zu ermüden, indem wir ihr zu sehr den Zügel schießen lassen, wird es beydes nützlich und angenehm seyn, das was uns die Fernröhre bisher gelehrt haben, mit den Augen des Verstandes etwas genauer zu untersuchen. Ohne einen Schritt weiter zu gehn, ohne das Gebiet der Fantasie zu betreten, werden wir hier genug Gegenstände der Bewunderung finden, wozu uns überdem das geringste Insekt Stoff genug gibt, wenn wir ihn nur benutzen wollen.

Entwurf der Milchstraße auf die Sphäre.

§. 35. Die besten Aufschlüsse über die Einrichtung des Weltgebäudes wird uns eine nähere Betrachtung der Milchstraße geben, die wegen ihres weißlichten matten Lichts schon bey den Griechen und Römern diesen Namen hatte. Dieser Sternen-Ring, in dem Jahrtausende noch keine Aendrung hervor gebracht haben, geht durch die Kassiopeja, den Perseus, die Beine des Fuhrmanns, unter den Füßen der Zwillinge weg durch Orions Keule, durch das Einhorn, die Buchdrucker-Werkstatt, das Schif, die Karls-Eiche, die Füße des Centaurs, das südliche Kreutz, den Altar, den Schwanz des Skorpions, den Bogen des Schützen, den östlichen Arm und Fuß des Schlangenträgers, das Sobieskische Schild, den Kopf und Rücken des Poniatowskischen Stiers, den westlichen Arm des Antinous, den Adler, Fuchs,

Schwan, den Kopf und Scepter des Cepheus, und die Krone in Friedrichs Ehre. In der Milchstraße befinden sich folgende Sterne 1ter und 2ter Größe: Algenib im Perseus (2), β im Fuhrmann (2), α im Orion (1), γ im Pollux (2), ζ, γ, ε, ι, im Schif (2), α (1), β und γ (2) im Kreutz, α (1) und β (2) im Centaur, Athair im Adler (1), und Deneb (2) im Schwan. Sehr nahe dabey: γ (2) in der Andromeda, Algol (2) im Medusenkopf, Kapella (1), Procyon (1), Sirius (1), δ, ε, η, (2) im großen Hunde, β (2) im Schif, Antares (1), σ (2) im Schützen, Wega (1), und der Sternhaufen im Kopfe des Delphins.

Die Breite dieses Ringes ändert sich von 2° bis 17°. An mehreren Stellen hat er kleine Oefnungen und Spalten, an andern schießen Aeste aus, und überhaupt ist der Glanz nicht allerwärts von gleicher Stärke. Von den Vorderfüßen des Centaurs erstreckt sich bis über den Rücken des Wolfs ein isolirter Ast von etwa $1\frac{1}{2}$ Grad Breite und 20° Länge. Beym Altar trennt sich die Milchstraße in zwey Aeste von etwa 5° Breite, die sich bis auf 12° von einander entfernen, und beym Deneb im Schwan wider vereinigen. Ihre gröste Breite von 17° hat die Milchstraße im Einhorn: von hier zieht sie sich plötzlich durch die ganze Länge des Schifs bis 5° zusammen, wo zugleich ihre glänzendste Stelle ist; unter den Hinterfüßen des Centaurs hat sie ihre geringste Breite von 2°. In der Kassiopeja nähert sie sich dem Nordpol auf 30°, an der entgegen gesetzten Stelle beym Kreutz ist sie nur 22° vom Südpol entfernt. Sie bildet also an der Sphäre einen Ring, der nur um wenige Grade von einem grösten Kreise abweicht: d. h. wir befinden uns beynahe, aber nicht ganz genau, in ihrer Ebne. Der Nordpol dieses Kreises liegt also in 186° Rektaszension und 32° Abweichung, bey einem Nebelfleck über dem Haar der Berenice, der Südpol in 6° Rektaszension und 32° Abwei-

chung, 1° südlich vom Stern 6ter Größe ♃ in der Bildhauer-Werkstatt. — Wir wollen nun sehn, was sich aus der Form, in der sich die Milchstraße an der Sphäre abbildet, für ihre wahre Gestalt schließen läßt.

Gleichförmige Vertheilung der Sterne.

§. 36. Die natürlichste Voraussetzung, die man hier zum Grunde legen muß, ist die, daß die Sterne gleichförmig im Weltraum vertheilt sind, oder ungefähr in gleichen Entfernungen von einander liegen. Es ist dies in der That die einzige Hypothese die man annehmen kann, weil jede andre ganz willkührlich seyn würde, da wir keinen Grund haben, eine Gegend des Himmels für sternreicher oder leerer als die andre zu halten, und diese gleichförmige Vertheilung allein dem Grundsatz der Ersparung des Raums entspricht, den die Natur durchgängig zu befolgen scheint. Freylich wird man sich nicht einbilden, daß alle Sterne wirklich im strengsten Sinne gleiche Entfernungen von einander haben; es ist sogar höchst wahrscheinlich, daß das Ganze aus mehreren einzelnen Systemen oder Gruppen besteht, die von den benachbarten durch größere Zwischenräume getrennt sind, als die Sterne selbst, die jedes System bilden. Jene Hypothese wird also einzelne Stellen des Himmels bald zu voll, bald zu leer annehmen; sie wird aber immer zwischen beyden Fehlern, die sich gegenseitig ersetzen, das Mittel halten, und daher der Wahrheit im ganzen am nächsten kommen. Ihre Richtigkeit ist sogar durch die Erfahrung, da wo wir Beobachtungen darüber anstellen können, wirklich bewiesen. Es ist wahrscheinlich, daß die Sterne erster Größe gleiche Entfernungen von uns haben, die Sterne zweyter Größe die doppelte Entfernung, die der dritten Größe die dreyfache, ꝛc. Da nun auch die Sterne erster Größe von einander eben so entfernt seyn müssen, als sie von unsrer Sonne, dem ihnen nächsten Fixstern, sind, so liegen sie auf einer Kugelfläche in einer Entfernung von einander verbreitet, die dem Halbmesser der Kugel gleich ist, in deren Mittelpunkt sich unsre Sonne befindet:

ihre Anzahl müste also, nach der Natur der Kugel, 14 seyn. Die Sterne zweyter und dritter Größe, die auf Kugelflächen zerstreut sind, die 4 und 9 mal so groß sind, weil die Halbmesser 2 und 3 mal so groß sind, müsten sich also in 4 und 9 mal so großer Anzahl befinden. In der That findet dieses Verhältniß beynahe statt, und es gibt wirklich 17 oder 18 Sterne der ersten Größe, die ungefähr 60° von einander entfernt scheinen, wie es seyn muß, wenn sie so weit von einander als von uns entfernt sind. Eine genaue Uebereinstimmung läst sich hier gar nicht erwarten, weil die Sterne gewiß nicht alle von derselben Größe sind, wie hiebey angenommen ist. Ueberhaupt aber scheint eine fast gleichförmige Vertheilung der Sterne hiedurch bestätigt zu seyn; und daraus, daß die Sterne wirklich etwas näher zusammen liegen, als sie nach jener Rechnung solten, läst sich schließen, daß unsre Sonne wenigstens nicht kleiner ist als die meisten Sterne, wiewol es auch wider viele unter ihnen geben mag, die sie an Größe übertreffen.

Bestimmung der Entfernung der Sterne durch ihre Menge.

§. 37. Wir sind also berechtigt, eine solche gleichförmige Vertheilung der Sterne in der ganzen Milchstraße, die offenbar ein isolirtes Ganzes ausmacht, an zu nehmen; über ihren Gränzen hinaus müssen wir aber leere Zwischenräume erwarten, die sie von andern Milchstraßen trennen. Ihre Gestalt, die einem grösten Kreise so sehr nahe kömmt, beweist offenbar, daß sie uns einschließt, d. h. daß wir uns innerhalb derselben befinden, wenn gleich nicht genau in ihrer Mitte: denn wenn wir nur um einen Durchmesser außer ihr ständen, so könnte sie uns nur als ein kleiner Kreis unter dem Winkel von 60° erscheinen (§. 33.). Wir müssen daher unsre Sonne und die übrigen Sterne als einen Theil des Sternhaufens ansehn, dessen fernste Theile sich uns in der Gestalt jenes Lichtbogens zeigen, den wir die eigentliche Milchstraße nennen. Welche Erscheinungen müssen sich uns nun darbieten, wenn das bewafnete Auge die Gränzen dieses Sternhaufens erreichen

kann? Hätten diese Gränzen nach allen Seiten gleiche Entfernung von uns, d. h. wäre der ganze Sternhaufen eine Kugel, in deren Mittelpunkt sich unsre Sonne befände, so müsten wir an jeder Stelle des Himmels eine gleiche Menge von Sternen erblicken. Allein die eine dieser Voraussetzungen ist so unwahrscheinlich wie die andre: eine so vollkommen regelmäßige Form läst sich nicht erwarten; und was berechtigt uns zu glauben, daß wir gerade den Mittelpunkt des Ganzen einnehmen? Wegen der gleichförmigen Vertheilung der Sterne werden wir also zwar in gleichen Entfernungen immer gleich viele Sterne sehen; da aber unser Auge allerwärts die Gränzen der Milchstraße erreicht, und diese Gränzen verschiedene Entfernungen haben, so werden wir da, wo die Milchstraße sich weiter hin erstreckt, mehr Sterne, nicht neben sondern hinter einander liegen sehn, als da wo wir den Gränzen näher sind. Man wird also umgekehrt aus der größern oder geringeren Menge der Sterne, die sich im Fernrohre zugleich zeigen, die größere oder geringere Entfernung der Gränzen, d. h. die verschiedenen Halbmesser der Milchstraße herleiten können, weil die größere Anhäufung der Sterne, bey ihrer gleichförmigen Vertheilung, nur daher rühren kann, daß mehrere Schichten hinter einander liegen. Nach diesen Grundsätzen hat H. Herschel den ganzen Himmel gemustert, seinen Gehalt an Sternen nach allen Richtungen untersucht, und dadurch die verschiedenen Durchmesser des Sternhaufens, zu dem wir gehören, bestimmt: nachdem er sich theils dadurch, daß das milchfarbige Licht ganz aufhörte, indem es sich vollkommen in Sterne auflöste, theils dadurch, daß er sogar im Stande war, die einzelnen Sterne der weit entfernteren Nebelflecke zu erkennen, überzeugt hatte, daß sein Auge bis an die äußersten Gränzen der Milchstraße drang. Folgendes sind die Resultate dieser Musterung.

Durchschnitt unsers Sternhaufens.

§. 38. 1) Ueberhaupt war das Feld des Fernrohrs mit Sternen desto mehr angefüllt, je näher es dem schimmernden

Kreise kam, den wir die Milchstraße nennen, und desto weniger, je mehr es sich davon entfernte, so daß die Zahl der im Fernrohr zugleich befindlichen Sterne von 1 bis 500 zunahm. 2) In der Milchstraße selbst waren die Sterne am gedrängtesten, aber nicht in allen ihren Theilen in gleichem Grade. Die sternreicheste Gegend ist die des Adlers und Schwans, wo die Milchstraße in zwey Aeste getheilt ist; weniger reich, ungefähr im Verhältniß von 3 zu 5, ist sie an der entgegen gesetzten Stelle beym großen Hunde; am ärmsten ist sie in der Mitte zwischen beyden in der Gegend des Perseus. Die Gegend des Schifs, die den stärksten Glanz hat, konnte, weil sie in London nicht aufgeht, nicht untersucht werden. 3) Am leersten und klarsten ist der Himmel um die beyden Pole der Milchstraße herum (§. 35.), wo uns also die Gränzen am nächsten liegen. — Hieraus lassen sich folgende Schlüsse ziehn.

I) Der Sternhaufen, zu dem unsre Sonne gehört, und den wir unsern Nebelfleck nennen wollen, hat keine sphärische, sondern eine fast linsenförmige Gestalt. Er ist nämlich nach der Richtung der Pole der Milchstraße sehr flach, weil wir mit bloßen Augen hier gar keinen Schimmer, und mit den stärksten Vergrößrungen nur wenig kleine Sterne sehen, also den Gränzen nach dieser Richtung sehr nahe sind. Nach allen darauf senkrechten Richtungen aber, wo sich dem bloßen Auge der Kreis der Milchstraße zeigt, ist der Nebelfleck sehr weit ausgedehnt. II) Wenn man unsern Nebelfleck nach dieser Länge durch die Mitte schneidet, so folgt, daß unsre Sonne sich nicht genau in diesem Schnitt, aber sehr nahe dabey befindet, weil uns die Milchstraße fast wie ein gröster Kreis erscheint (§. 35.). III) Auch nimt unsre Sonne nicht die Mitte dieser Länge ein, sondern liegt näher nach der Gegend des Sirius hin, als nach dem Adler, so daß die geraden Linien von unsrer Sonne bis an die Gränzen unsers Nebelflecks, nach der Gegend des Sirius und des Adlers,

sich ungefähr wie 3 zu 5 verhalten. Dies folgt aus 2). IV) Die Vergleichung der obigen Theorie (§. 37.) mit der Herschelschen Zählung beweist, daß die Gränze unsers Nebelflecks nach der Gegend des Adlers hin ungefähr 500 mal so weit von uns entfernt ist, als die Sterne erster Größe, welches wir eine Sternweite nennen wollen. Auf der entgegen gesetzten Seite des Sirius ist die Gränze nur um 300 Sternweiten entfernt, so daß die gröste Länge unsers Nebelflecks wenigstens 800 Sternweiten beträgt.

Man könnte auf diese Art einen geometrischen Plan von unserm ganzen Nebelfleck entwerfen, wenn man die Tiefe desselben nach allen Richtungen durch die Menge der Sterne bestimmte, wodurch sich zugleich der Ort unsrer Sonne ergeben würde. H. Herschel hat diese mühsame Arbeit durch einen grösten Kreis über den ganzen Himmel vorgenommen, welcher die Milchstraße nahe beym Athair, wo sie in zwey Aeste getheilt ist, und zwischen dem Sirius und Einhorn schneidet, durch ihre Pole geht (§. 35.), und zwischen dem Wassermann und Steinbock, einige Grade nordlich von Fomalhaut im südlichen Fische, durch die Bildhauer-Werkstatt, Elektrisirmaschine, den chemischen Ofen, Themim im Eridan, den Kopf der Hydra, nordlich über den Regulus, durch die Brust des Bootes, auf λ im Herkules fort läuft. Dieser Durchschnitt unsers

12. Fig. Nebelflecks ist in der 12ten Figur vorgestellt, wo S die Stelle ist, die unser ganzes Sonnen-System einnimt, A die Gegend des Adlers, B die des Schwans, zwischen welchen die Milchstraße in zwey Aeste getheilt ist, C die Gegend des Sirius, D, E, die Pole der Milchstraße, nach welcher Richtung unser Nebelfleck ungefähr 150 Sternweiten im Durchschnitt hat. Der größre Kreis um S hat einen Halbmesser von 40 Sternweiten, begreift also den ganzen Raum, in dem man mit gewöhnlichen Fernröhren einzelne Sterne un-

terscheiden kann. Der kleinere Kreis um S schließt alle Sterne ein, die man noch mit bloßen Augen erkennen kann.

Dessen wahre Gestalt.

§. 39. Nach allem diesem muß man sich also die ganze Milchstraße, nebst allen Sternen die wir einzeln am Himmel zerstreut sehen, als einen großen zusammen hängenden Sternhaufen vorstellen, in dem die Sterne ziemlich gleichförmig vertheilt sind, und der die Gestalt einer Linse oder einer runden Scheibe von geringer Dicke hat. Unsre Sonne befindet sich in nicht sehr großer Entfernung von der Mitte so wol der Scheibe selbst, als ihrer Dicke. Alle Sterne die nicht weiter als 7 Sternweiten von uns nach allen Seiten entfernt sind, sehen wir einzeln, so wol nach der Dicke als der Länge und Breite der Scheibe, über dem ganzen Himmel zerstreut. Hinter diesen liegen nach allen Seiten, dem bloßen Auge unkenntlich, in weit größeren Entfernungen, unzählige Sterne, aber nach der Dicke ungleich weniger, als nach der Länge und Breite. Die erstern entgehen dem Auge ganz, die letztern aber liegen in viel mehreren Schichten hinter einander, wodurch ihr vereinigtes Licht gleichsam eine größere Solidität erhält, so daß es dem Auge als ein blasser Schimmer merklich wird, der sich längs dem ganzen Umfange der Scheibe ausdehnt, und uns an der Sphäre in der Gestalt eines Kreises erscheint, den wir die Milchstraße nennen. Wenn (12. Fig.) A S C ein Schnitt durch die Länge dieser Scheibe, D S E durch ihre Dicke vorstellt, so sieht man in S nur bis a d c e die Sterne einzeln, bis F D G E sieht man sie weder einzeln (weil sie zu entfernt sind), noch ihr schwaches Licht (weil ihrer zu wenige sind); allein die unzähligen Sterne von F bis A oder B, und von G bis C, die wegen der größern Entfernung näher bey einander scheinen, zeigen dem Auge den blassen Schimmer der Milchstraße. Die Sterne a, c, erscheinen uns einzeln in der Milchstraße A, C, so wie Athair, α im Orion, Sirius, ꝛc. (§. 35.): die übrigen d, e, zeigen sich außer der Milchstraße, wie der große Bär, ꝛc.

Zusammensetzung der Milchstraße aus mehreren Systemen.

§. 40. Mehrere Gründe machen es wahrscheinlich, daß dieses ganze Meer von Sternen aus vielen einzelnen Inseln oder abgesonderten Systemen besteht, die dann zusammen, wegen ihrer Nachbarschaft, das große System der Milchstraße bilden, so wie unser Sonnen-System aus den kleineren des Uranus, Saturns und Jupiters mit ihren Monden zusammen gesetzt ist. Die vielen Aeste die von der Milchstraße ausschießen, die vielen Nebelflecke die H. Herschel in den Lücken und Zwischenräumen der Milchstraße, besonders an ihren Polen sah, und sehr wohl in einzelne Sterne auflösen konnte, die also nicht entfernter als die Milchstraße selbst, oder Theile von ihr zu seyn scheinen, lassen sich nicht wol anders ansehn als wie einzelne Systeme, die eine solche Lage gegen unser Auge haben, daß wir den Zwischenraum der sie von den nächsten trennt, wirklich unterscheiden können, welches die Lage der übrigen nicht erlaubt, daher ihr Licht zusammen fließt. Selbst die linsenförmige Figur der Milchstraße scheint dies zu beweisen, weil sie als ein einzelnes System vielmehr eine sphärische Gestalt angenommen haben würde. Diese Vorstellung wird über die besondern Umstände, die wir an der Milchstraße bemerken, ein großes Licht verbreiten.

1) Unter einem System von Weltkörpern wird hier ein Haufen von Sternen verstanden, die einander so nahe sind, daß sie sich um einen gemeinschaftlichen Mittelpunkt bewegen, der entweder der Schwerpunkt aller dieser Sterne, oder wirklich ein großer Zentralkörper ist; denn nur eine solche Bewegung kann verhindern, daß die Sterne endlich durch gegenseitige Attraktion in ein Chaos zusammen stürzen. Ein solches Fixsternen-System bilden die Myriaden von Sonnen oder Sternen, die wir mit bloßen Augen und durch gewöhnliche Fernröhre einzeln erkennen, gleichsam als einzelne Funken, die von dem Feuer-Gewölbe der Milchstraße abfallen. Wahrscheinlich ist jeder dieser Sterne, gleich unsrer Sonne die zu diesem ersten Stern-System gehört, von Millionen Planeten

und Kometen umgeben, und man kann die Zahl der Sonnen die dieses System ausmachen, wol nicht geringer als eine Million annehmen (§. 31.).

2) In diesem System scheinen die Bahnen der Sterne, gleich den Kometenbahnen in unserm Sonnensystem, alle mögliche Lagen zu haben, so daß das Ganze eine sphärische Gestalt annimt: denn wir sehn fast alle Gegenden des Himmels gleich dicht mit Sternen besäet.

3) Aus eben diesem Grunde folgt, daß unsre Sonne sich nicht an den Gränzen dieses Systems, sondern nicht weit vom Mittelpunkt befindet, oder mit andern Worten, daß sie in dem bey den Planeten gebräuchlichen Sinn, nicht einer von den obern sondern untern Sternen ist, weil wir sonst den grösten Theil unsers Sternen-Systems an einer Seite haben würden, so daß uns der Himmel nach dieser Seite sehr dicht, an der entgegen gesetzten sehr dünn mit Sternen besetzt scheinen würde, welches der Erfahrung widerspricht.

4) Es erhellt hieraus zugleich, daß der grössre Theil unsers Sternen-Systems, also auch der Mittelpunkt, an derjenigen Seite des Himmels liegen muß, die uns die reichste an Sternen scheint; und dies ist unstreitig die Gegend des Stiers oder Orions: vielleicht ist also der berühmte Nebelfleck im Orion, der ehr einer zusammen hängenden Lichtmasse, einem soliden Körper, als einer Gruppe von Sternen ähnlich ist, der große Zentralkörper unsers Fixstern-Systems.

5) Viele solche benachbarte Sternen-Systeme, die von den übrigen durch einen großen Zwischenraum getrennt sind, werden vermöge ihrer Attraktion wider ein Ganzes bilden, ein um einen Grad höheres System, dessen einzelne Theile, nicht wie vorher Sonnen-Systeme sondern Fixstern-Systeme sind, die sich im Gefolge ihrer großen Zentralkörper, entweder um den gemeinschaftlichen Schwerpunkt, oder um einen noch größern Zentralkörper bewegen. Ein solches System ist unsre Milchstraße. Auch in diesem höhern System ist unser

Fixstern-System eins der untern, oder dem Mittelpunkt sehr nahe, der nach der Seite des Adlers hin zu liegen scheint (§. 38.).

6) Die linsenförmige Gestalt der Milchstraße scheint zu beweisen, daß die Bahnen der einzelnen Theile desselben, nämlich der Fixstern-Systeme, nicht gleich den Kometenbahnen alle mögliche Lagen haben, sondern gleich den Planetenbahnen fast in einer Ebne liegen; oder vielmehr, daß der durch seinen milchfarbigen Schimmer uns sichtbare Theil dieses großen Systems bloß die Planeten desselben begreift, so daß der Streifen der so genannten Milchstraße nur der Zodiak derselben ist, die nach andern Richtungen hin liegenden Kometen aber, wegen ihrer ekzentrischen Bahn und ihrer größern Entfernung, die sie mehr zerstreut, uns entweder ganz unsichtbar sind, oder als ausschießende Aeste oder abgerissene Nebelflecken erscheinen. In der That hat H. Herschel bemerkt, daß nur um den Polen der Milchstraße herum der Himmel ganz rein ist, der Grund aber nach und nach neblichter erscheint, je näher man der eigentlichen Milchstraße kömmt. Nach dieser Richtung der Länge sind die Nebelflecken so dicht zusammen gedrängt, daß wir ihre Zwischenräume nicht bemerken können, sondern die zusammen hängende Milchstraße sehn; nach der Breite aber erkennen wir die sparsameren und entfernteren einzelnen Nebelflecke, die Kometen der Milchstraße.

7) Stellt man sich nun den Streifen am Himmel, den wir die Milchstraße nennen, als den Zodiak der Planetenartigen Bahnen der Fixstern-Systeme vor, so erhellt, daß solche Stellen, wo die Knoten sehr vieler dieser Bahnen zusammen fallen, schmäler als die übrigen erscheinen müssen, daß sie, weil die Sternen-Systeme hier in einen engern Raum zusammen gedrängt sind, stärker glänzen müssen, und daß endlich zwey solche Stellen einander gegenüber stehen müssen. In der That ist der Theil zwischen dem Schif und

Centaur der schmälste und glänzendste der ganzen Milchstraße: eine ähnliche Stelle findet sich gegenüber beym Kopfe des Cepheus.

8) Zwischen diesen beyden Knoten muß die Milchstraße die gröste Breite haben; und wenn hier die meisten Bahnen beynahe in zwey Ebnen fallen, die durch einen merklichen Zwischenraum getrennt sind, so wird das Auge, an der Seite wo es sich selbst befindet, die Milchstraße wirklich in zwey Aeste getheilt sehn, an der entgegen gesetzten Seite aber wird, wegen der größern Entfernung, der Zwischenraum so klein scheinen, daß sich der Schimmer beyder Aeste vermischt, und die Milchstraße ungetheilt erscheint. Dies trifft vollkommen mit der Natur überein: die erste Stelle geht vom Schwan und Adler bis zum Skorpion, die letztre findet sich beym Kopfe des Einhorns.

Die Nebelflecke sind entfernte Milchstraßen.

§. 41. Es ist bereits oben (§. 33.) gezeigt, daß wenigstens die meisten jener kleinen Wolken oder Nebelflecke, mit denen alle Gegenden des Himmels übersäet sind, nichts anders als Milchstraßen sind, d. i. Haufen von Millionen Sternen, die wahrscheinlich aus mehreren untergeordneten Systemen bestehen, und deren Entfernung so ungeheuer ist, daß diese unzähligen Sonnen, deren jede vielleicht von Millionen Planeten umgeben ist, nur einen Raum von wenigen Minuten ein zu nehmen scheinen. H. Herschel, dessen durch vieljährige Uebung geschärftes Auge hier der beste Richter ist, hat sehr große Nebelflecken von $1\frac{1}{2}$ Grad Länge beobachtet, die sich sehr gut in einzelne Sterne auflösen lassen; andre die nach und nach kleiner werden, und in denen die Sterne näher zusammen gedrängt und schwerer zu erkennen sind; noch andre, deren einzelne Sterne sich auch durch die stärksten Vergrößrungen nicht erkennen lassen, die aber noch ein farbigtes stark glänzendes Licht haben; endlich sehr kleine, die nichts als einen ganz farbenlosen milchweißen matten Schimmer zeigen. Man sieht also deutlich, wie diese Sternhaufen immer weiter

hinter einander liegen, bis sie sich endlich in der Tiefe des Himmels unsern Augen ganz entziehn: und H. Herschel bestimmt nach den oben gegebenen Regeln, die Entfernung der kleinsten Nebelflecke, die sich noch in Sterne auflösen lassen, zu wenigstens 500 Sternweiten, die der ganz unauflöslichen milchfarbigten zu wenigstens 8000 Sternweiten, woraus dann zugleich folgt, daß die meisten derselben unsre Milchstraße an Größe übertreffen, die in solcher Entfernung weit kleiner als jene Nebelflecken erscheinen würde. Man sieht zugleich, daß unsre Milchstraße von den übrigen durch hinlängliche Zwischenräume getrennt ist, damit jede ein besondres System ausmache. Da der nächste Fixstern wenigstens 100000 Durchmesser der Erdbahn von uns entfernt ist (Th. §. 82.), so gebraucht das Licht mehr als 3 Jahre, um von ihm, und wenigstens 25000 Jahre, um von dem fernsten Nebelfleck in unser Auge zu gelangen, welches eine Entfernung von 33000 Billionen geographischer Meilen gibt. Es folgt hieraus nicht allein, daß das Weltgebäude ein Alter von mehr als 25000 Jahren hat, weil das Licht das wir heute sehen, schon vor so langer Zeit von dort ausgeflossen ist, sondern auch, daß ganze Milchstraßen untergehn oder erlöschen könnten, ohne daß sie ehr als nach 25000 Jahren auf der Erde vermißt würden. Mit seinem 40füßigen Teleskop hat H. Herschel so gar Nebelflecken entdeckt, deren Entfernung er so groß schätzt, daß das Licht Millionen Jahre braucht, um von ihnen zu uns zu gelangen.

Plan des Weltgebäudes.

§. 42. Jetzt, da wir bis an die äußersten Gränzen des Universums gekommen sind, in die unser Auge mit Hülfe der vollkommensten Fernröhre dringen kann, ist es Zeit, daß wir einmal zurück blicken, und die ganze Gegend die wir durchwandert haben, überschauen, um uns eine Vorstellung von dem Plan des Ganzen zu machen. Die allgemeine Bemerkung, die sich hier aufdringt, ist die, daß das Weltgebäude, so viel wir davon kennen, — und warum nicht auch der

größre uns unbekannte Theil? — aus vielen, durch Attraktion, und durch Umlauf um einen gemeinschaftlichen Zentral-Punkt oder Körper, vereinigten großen Systemen besteht, deren jedes viele kleinere ähnliche Systeme enthält, die wider aus kleineren zusammen gesetzt sind, u. s. w. Wir kennen bereits die vier oder fünf untersten Stufen dieser Leiter, aber wir ahnen vielleicht nicht, wie unendlich weit wir noch von der obersten Stufe entfernt sind. — Die Systeme vom untersten Range sind, unsre Erde mit ihrem Monde, Jupiter mit seinen 4 Trabanten, Uranus mit 6, Saturn mit seinem ungeheuren Ringe und 7 Trabanten, und vielleicht viele andre, deren große Entfernung sie unsern Augen entzieht. Die einzelnen Theile eines solchen Systems sind das was wir Trabanten oder Monde nennen, der Zentralkörper ist ein Haupt-Planet: dunkle, nur durch erborgtes Licht glänzende Körper laufen um andre dunkle, die ihnen in jeder Rücksicht ähnlich zu seyn scheinen, und beyde erleuchten sich gegenseitig. — An unserm Sonnensystem sehn wir ein Beyspiel eines Systems vom zweyten Range, bestehend aus Tausenden, vielleicht Millionen von Planeten und Kometen, die zum Theil von Trabanten umgeben, sich um die Sonne als ihren Zentralkörper sammeln: dunkle Körper laufen um einen hellen, von dem sie Licht und Wärme empfangen. Jeder der unzähligen Fixsterne, die den Himmel wie Sand am Meer bedecken, ist ohne Zweifel eine Sonne, die wahrscheinlich gleich der unsrigen, von Millionen Planeten, Kometen, und Monden umgeben, ein ähnliches System ausmacht. — Die Systeme vom dritten Range sind die einzelnen Sternhaufen, aus denen unsre Milchstraße und die unzähligen Nebelflecke zusammen gesetzt sind; Myriaden von Sonnen, deren jede ihr zahlreiches Planeten-Gefolge mit sich schleppt, laufen entweder um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt, oder um einen Zentralkörper, der entweder selbst eine ungleich größere Sonne, oder nach der Analogie zu schließen, ein dunkler Körper ist,

dem das Heer seiner Sonnen Licht und Wärme gibt. — Tausend solcher Zentralkörper, nebst den sie umgebenden Sonnen, erkennen die höhere Macht irgend eines ungeheuren Zentralkörpers an, oder sammeln sich durch gegenseitige Anziehung um den gemeinschaftlichen Schwerpunkt, und bilden Systeme vom vierten Range, von denen dasjenige, zu dem unser Fixstern-System, unsre Sonne und unsre Erde gehört, sich uns in der Gestalt der Milchstraße zeigt, und deren wir unzählige als Nebelflecke über dem Himmel zerstreut sehen. — Alle diese Milchstraßen oder Nebelflecken werden wahrscheinlich, durch die Attraktion eines noch größern Zentralkörpers oder des gemeinschaftlichen Schwerpunkts, zu einem Ganzen, einem System vom fünften Range vereinigt: ganze Milchstraßen, aus unzähligen Fixstern-Systemen zusammen gesetzt, deren jedes Millionen Sonnen, umgeben von ihren Kometen, Planeten und Monden, enthält, beschreiben um einen gemeinschaftlichen Mittelpunkt Ellipsen, wie Saturn mit seinen 7 Trabanten um die Sonne.

Größe des Universums.

§. 43. Dies ist nur der uns sichtbare Theil des Universums, vielleicht nichts weiter als die Schwelle des von unendlicher Weisheit und Macht erbauten Tempels. Diese äußern Umrisse eines Plans, dessen Größe Sterbliche nie fassen können, sind hinlänglicher Stoff zum Nachdenken, zur Bewunderung und Anbetung; aber der Einbildungskraft ist es erlaubt, auf diesem Grunde fort zu bauen, und jene Stufenleiter bis zu Systemen vom 100ten, vom 1000ten Range fort zu setzen, bis sie endlich erschöpft, einen Ruhepunkt sucht, und ihn in dem gemeinschaftlichen Mittelpunkt findet, um den sich das unendliche Ganze dreht, und in dem das sichtbare Bild des großen Regierers thront. Wenn dieser Ueberblick unsern Stolz demütigt, wenn wir mit Beschämung fühlen, daß unsre Erde mit allen ihren Herrlichkeiten und Thronen hier nicht genannt zu werden verdient, so genießen wir zugleich den erhabenen Trost, daß die Ungerechtigkeiten und Gewaltthätigkeit

ten, mit denen die Geschichte des Sandkorns welches wir bewohnen, angefüllt ist, und welche die weisesten und besten Menschen zur Verzweiflung gebracht haben, der Vollkommenheit des Ganzen so wenig Eintrag thun können, als die Verwüstungen die die Milbe in einem Stückchen Käse anrichtet, die Natur zerstören. Unsre Erde, unser ganzes Sönnensystem könnte untergehn, ohne daß die Lücke in der Milchstraße bemerkt, ohne daß der einzelne Stein in dieser Demant-Krone vermißt würde. Was sind dann alle die Verheerungen der durch blinden Ehrgeitz angefachten Kriege? Sie gehn vorüber, wie die Gewitter die die gütige Natur mit fruchtbarem Regen begleitet; die Thränen, die im Kriege flossen, werden einst getrocknet; und der Name des ehrgeizigen, fühllosen Verwüsters wird selbst auf dem Erdball, der ihm Alles war, vergessen, oder mit verdienter Verachtung bestraft, indeß der Name des hier unbekannten Menschenfreunds zum Throne, von dem aus alle Welt-Systeme regiert werden, empor dringt.

Viertes Kapitel.

Topographie des Himmels.

Inhalt des Kapitels.

§. 44. Die General-Karte, die wir hier von dem Theil des Universums, den wir übersehen können, entworfen haben, enthält nebst der Spezial-Karte von unserm Sonnen-System, die wir in den vorhergehenden Kapiteln und im zweyten Theil dieses Werks gegeben haben, alle unsre eigentlichen astronomischen Kenntnisse vom Weltgebäude: zur vollständigen Beschreibung desselben fehlt nur noch eine topographische Beschreibung der einzelnen Weltkörper, womit sich die neuern Astronomen sehr beschäftigt haben, und die der Gegenstand dieses Kapitels

seyn wird. Es ist natürlich, hier dasselbe Verfahren an zu wenden, dessen wir uns bey jener Karte bedient haben. So wie die Größe unsrer Erdkugel zur Ausmessung der Erdbahn, diese zur Einheit bey den Planeten- und Kometen-Bahnen, die Größe des ganzen Sonnensystems zur Berechnung der Entfernung der Fixsterne, und eine Sternweite zum Maasstabe für die Milchstraße diente: so wird auch die physische Beschaffenheit des Planeten den wir bewohnen, die Norm seyn müssen, nach der wir andre Weltkörper beurtheilen. Wir werden von der Vermuthung ausgehn, daß zwischen allen Planeten eine Analogie statt finde, daß alle, gleich dem unsrigen, von einer Atmosphäre umgebene Kugeln sind, deren Oberfläche aus festem Lande und Meeren, aus Bergen und Thälern besteht, und deren Bewohner durch die einfache Einrichtung der Umdrehung um eine Axe, die Abwechslungen der Jahrszeiten und Mannigfaltigkeit des Klimas genießen. Wenn wir uns durch ein kleines Nachdenken überzeugt haben, wie diese Phänomene, von deren Daseyn auf der Erde wir gewiß sind, sich in der Entfernung der Planeten zeigen müssen, so werden uns die Fernröhre lehren, daß jene Vermuthung wirklich statt findet; wir werden aber zugleich mit Vergnügen bemerken, daß auch hier die unerschöpflich reiche Natur jeden Planeten mit eigenthümlichen Vorzügen oder Nachtheilen ausgestattet hat. Auf ähnliche Art wird das was wir an unsrer Sonne entdecken, zum Muster für die Fixsterne dienen; doch werden uns unmittelbare Beobachtungen, die mit jedem Jahre zahlreicher werden, zeigen, daß es auch hier große Mannigfaltigkeit gibt, und daß vielleicht am Firmament Revolutionen vorgehn, gegen die unsre Erdbeben und Sündfluten Puppenspiele sind.

Rotation

§. 45. Wir werden nun die Planeten nicht mehr bloß als astronomische Punkte, oder als Kugeln die eine gewisse krumme Linie im Weltraum beschreiben, sondern als physische Körper betrachten, deren innere Beschaffenheit, oder wenig-

stens deren Oberfläche wir mit unsrer Erde vergleichen wollen. In dieser Rücksicht ist der wichtigste Gegenstand ihre Rotation um eine Axe, von der ihre Tages- und Jahrs-Zeiten abhängen: es ist zugleich wirklich ein Gegenstand der Astronomie und Geometrie, und daher am leichtsten zu bestimmen. Wenn die Planeten vollkommen glatt geschliffene Kugeln wären, ohne Flecken und Farbenspiel, so wäre es uns eben so unmöglich, über ihre Rotation zu urtheilen, als wir die Umwälzung der Erde oder der Sphäre bemerken würden, wenn es keine festen Punkte oder Flecken, keine Sterne am Himmel gäbe, die durch ihre Bewegung uns davon überzeugen. Kein Theil des Planeten würde sich vor dem andern auszeichnen, und wir würden nicht wissen können, ob sie uns diese oder jene, ob sie uns immer die nämliche oder verschiedene Seiten zukehren. Die Beobachtung der Flecken auf den Weltkörpern hat daher zur Bestimmung ihrer Rotation geführt, und man hatte nicht so bald Flecken in der Sonne entdeckt, als die Periode ihrer Umwälzung bestimmt ward. Es folgt hieraus, daß wir nur von der Rotation derjenigen Weltkörper etwas wissen können, die uns so nahe sind, daß wir ihre Flecken deutlich sehn; und man wird leicht daraus schließen, daß dieser Theil der Sternkunde den alten Astronomen ganz unbekannt war: allein durch die große Vollkommenheit der neuern Fernröhre kennt man die Rotation fast aller Planeten und Trabanten unsers Systems. Die Methode wodurch sie bestimmt wird, ist sehr einfach, und folgende wenige Bemerkungen werden alles deutlich machen.

Wenn der Wind dicke Wolken über die Erde weg treibt, so sehen die Bewohner des Monds ohne Zweifel schwarze oder graue Flecken vom Rande der Erde nach dem Mittelpunkt oder umgekehrt ziehen, aber sie würden sich sehr irren, wenn sie hieraus die Rotation der Erde schlössen. Man muß also zuerst solche Flecken, die sich in der Atmosphäre eines Planeten befinden, und mit derselben über ihn fort gerissen

werden, ohne daß der Planet selbst eine Bewegung hat, von denjenigen unterscheiden, die Theile seiner Oberfläche ausmachen, und allein zur Bestimmung der Rotation gebraucht werden können. Die atmosphärischen Flecken haben eine schnellere Bewegung, die bey jedem, nach dem herschenden Winde, eine andre Richtung und Geschwindigkeit hat; sie erscheinen und verschwinden plötzlich, nachdem sich die Luft auf dem Planeten bewölkt oder aufheitert, und sie werden sich selten mehrmals nach einander zeigen: da hingegen die Flecken der Oberfläche wenigstens lange Zeit unverändert bleiben, und sämmtlich dieselbe Periode für die Rotation des Planeten geben.

Nicht jede Bewegung der Flecken letztrer Art beweist eine Rotation der Weltkörper. Wenn z. B. die Sonne sich nicht um eine Axe drehte, so würden wir doch, vermöge unsers jährlichen Umlaufs, im Winter die entgegen gesetzte Seite der Sonne von derjenigen sehn, die uns im Sommer zugekehrt ist, und die Sonnenflecken würden über ihre Scheibe fort zu rücken scheinen, als wenn die Erde ruhete, und die Sonne sich in einem Jahr um ihre Axe drehte. Auch die Planeten werden uns, vermöge ihrer Bewegung um die Sonne, bald diese bald jene Seite zeigen, wenn sie sich gleich nicht um eine Axe drehn. Da uns nun so wol die Bewegung jedes Planeten, als unsre eigene, vollkommen bekannt ist, so ist es leicht zu berechnen, wie die Stelle der Flecken in der uns zugekehrten Scheibe durch jede dieser beyden Bewegungen verrückt werden müsse. Nimt man diese Verrückung von der beobachteten Bewegung der Flecken weg, so wird das was dann noch über bleibt, zur Bestimmung der Rotation dienen. Die fortschreitende und die umdrehende Bewegung eines Weltkörpers können sogar so kombinirt seyn, daß dieser Körper uns immer dieselbe Seite zukehrt, so daß wir gar keine Bewegung seiner Flecken bemerken: hievon werden wir ein merkwürdiges Beyspiel am Monde sehn.

§. 46. Die Bestimmung der Rotation der Sonne durch die scheinbare Bewegung ihrer Flecken, wird die beste Erläutrung dieser Methode seyn. der Sonne.

1) Wir sehn die Flecken in der uns zugekehrten Hälfte der Sonne immer am linken oder östlichen Rande ein, und am rechten oder westlichen wider austreten, so daß sie hinter der Sonne von der rechten nach der linken Seite herum gehn. Ein Auge im Mittelpunkt der Sonne würde also die Flecken von der rechten nach der linken Seite um sich laufen sehn: woraus folgt, daß die Umdrehung der Sonne nach eben der Richtung geschieht, wie die Bewegung aller Planeten um die Sonne, und die tägliche Rotation der Erde, nämlich nach der linken Seite.

2) Obgleich die Sonnenflecken nicht unveränderlich sind, obgleich manche von ihnen nach wenigen Tagen mitten in der Sonne verschwinden, so bewegen sie sich doch sämmtlich nach derselben Richtung und mit gleicher Geschwindigkeit, welches nur eine Folge der Rotation der Sonne seyn kann.

3) Viele Flecken dauern lange genug, um mehrere Umläufe um die Sonne zu machen, und alle solche Flecken brauchen zu einem solchen Umlauf etwas mehr als 27 Tage: wenn z. B. ein Fleck heute in der Mitte der Sonnenscheibe erscheint, so wird er nach etwas mehr als 27 Tagen wider dieselbe Stellung haben, d. h. er wird wider mit den Mittelpunkten der Sonne und der Erde in gerader Linie stehn. Da nun die Erde in 27 Tagen 27 Grad nach eben der Richtung fortgerückt ist, so hat der Fleck nicht allein einen ganzen Umlauf vollendet, sondern überdem die Erde wider eingeholt, er hat also in 27 Tagen $360° + 27°$ oder $387°$ durchlaufen: und hieraus folgt, daß ein Umlauf der Flecken oder die Umdrehung der Sonne um ihre Axe eine Periode von ungefähr 25 Tagen hat. Nach den neuesten Beobachtungen ist diese Periode von 25 Tagen 1 St. 0 M. 26 S. Da der Durch-

messer, folglich auch der Aequator der Sonne 109 mal so

groß ist, als der der Erde (§. 11.), so wird der Sonnen-Aequator durch die Rotation ungefähr viermal so schnell herum geführt, als der Erd-Aequator, weil er einen hundertmal so großen Weg in einer nur 25 mal so großen Zeit durchläuft.

4) Um den 10 Dezember N. St. wenn die Länge der Sonne 8 Z. 18° ist, also die Erde in 2 Z. 18° steht, sind die Bahnen aller Flecken in der Sonnenscheibe gerade Linien, die sich nach Norden über die Mitte der Sonne oder die Ekliptik erheben: welches beweist, daß die Erde sich alsdenn in der Ebne des Sonnen-Aequators, und zwar in seinem aufsteigenden Knoten mit der Ekliptik befindet. Um den 9 Junius sind sie wider gerade Linien, die aber eine entgegen gesetzte Lage haben, so daß sie sich nach Süden unter die Ekliptik senken, weil nun die Erde im ♋ steht. Die Länge des ☊ des Sonnen-Aequators mit der Ekliptik, aus der Sonne gesehen, ist genau 2 Z. 18° 13′ 5″.

5) In den Zwischenzeiten krümmen sich die Bahnen immer mehr und mehr: sie scheinen Ellipsen, deren innre oder hohle Seite vom 10 Dezember bis 9 Junius nach Süden oder nach unten gekehrt ist, vom 10 Junius bis 10 Dezember aber nach oben, weil sich die Erde in der erstern Zeit an der südlichen, in der letztern an der nordlichen Seite des Sonnen-Aequators befindet. Um den 10 Märtz und September haben diese Ellipsen ihre gröste Krümmung; und aus dem Verhältniß der großen zur kleinen Axe der Ellipsen hat man berechnet, daß der Sonnen-Aequator mit der Ekliptik einen Winkel von 7° 17′ 58″ macht.

und des Monds.

§. 47. Beym Monde trifft der oben (§. 45.) erwähnte seltne Fall ein, daß Rotation und progressive Bewegung gerade so kombinirt sind, daß wir gar keine Bewegung seiner Flecken bemerken, weil er uns immer dieselbe Seite zukehrt. Die ältesten Mond-Karten zeigen dieselben Flecken im Monde, die wir noch jetzt darin bemerken, und die wir sogar in

der Nachtſeite des Monds, oder ſeinem aſchfarbigen Lichte erkennen (Th. §. 165.). Die Beſtimmung der Rotation des Monds iſt daher eine ſehr einfache Sache. Da er der Erde, dem Mittelpunkt ſeiner Bahn, immer dieſelbe Seite zukehrt, ſo dreht er ſich genau in derſelben Zeit eines ſideriſchen Monats, da er einen Umlauf um die Erde macht, zugleich einmal um eine Axe, die auf ſeiner Bahn ſenkrecht ſteht. Dieſe Folge iſt ſo evident, daß es unbegreiflich ſeyn würde, wie demohnerachtet Aſtronomen daraus geſchloſſen haben, daß der Mond ſich gar nicht um eine Axe drehe, wenn nicht die ganze Sache am Ende auf einem Wortſtreit beruhete. Drehung um eine Axe und fortſchreitende Bewegung im Raum ſind ganz von einander unabhängig: ein Weltkörper kann dieſe oder jene allein haben, oder beyde auf unzählige Arten mit einander kombinirt. Im letztern Falle ſehn wir eine aus beyden zuſammen geſetzte Bewegung, von der wir die progreſſive trennen müſſen, um in dem was über bleibt, die Rotation kennen zu lernen (§. 45.). Dieſe Trennung geſchieht am leichtſten, wenn wir uns in die Sonne oder einen andern ſo entfernten Punkt verſetzen, daß die progreſſive Bewegung von ſelbſt verſchwindet, oder die ganze Bahn des Monds um die Erde zum unmerklichen Punkt wird: die Bewegung der Flecken, die ſich alsdenn auf der Oberfläche des Monds zeigt, wird ſeine Rotation beſtimmen. Nun iſt offenbar, daß in dieſem Falle der Mond dem Auge in der Sonne eine Seite nach der andern in einem Monate zeigt: in ſeiner obern Konjunktion (dem Vollmonde) ſieht man in der Sonne dieſelbe Seite, die der Erde beſtändig zugekehrt iſt, die entgegen geſetzte aber, wenn er zwiſchen der Erde und der Sonne ſteht (im Neumonde). Er hat alſo wirklich eine Rotation, deren Periode mit dem Monat einerley iſt. — Wir wiſſen, daß der Mond in $\frac{1}{3}$ Tagen um die Erde läuft, und daß dies dieſelben Erſcheinungen geben muß, als wenn die Erde nach eben der Richtung um den ruhenden Mond liefe. In dieſem letztern Fall

aber würden wir doch offenbar in einem Monat den Mond von allen Seiten sehn, wenn er sich nicht drehte. Da wir nun beständig dieselbe Seite sehn, so folgt, daß der Mond sich in eben der Zeit, da die Erde um ihn, oder er um die Erde läuft, um eine Axe dreht, so wie jemand der mir etwas auf seinem Rücken verbergen will (wie der Mond seine hintere Seite), wenn ich im Kreise um ihn herum gehe, sich nothwendig in eben der Zeit umdrehen muß. — Diejenigen die sich oder andre hievon nicht überzeugen konnten, hatten nicht hinlänglich überlegt, worin eigentlich progressive und rotatorische Bewegung sich unterscheiden. Die Bewegung eines Körpers ist bloß fortschreitend, wenn alle seine Theile in paralleler Richtung mit gleicher Geschwindigkeit fort gehn, so daß sie gegen einander immer dieselbe Stellung behalten; so bald aber die relative Lage der einzelnen Theile geändert wird, so bald einige Theile sich langsamer oder schneller als andre, und nach verschiedenen Richtungen bewegen, so findet eine Rotation statt: wenn z. B. eine Billards-Kugel vom westlichen nach dem östlichen Rande der Tafel gestoßen wird, so würde ihre Bewegung bloß progressiv seyn, wenn alle Punkte der Kugel immer auf gleiche Art nach Osten liefen, so daß der vorderste Punkt immer vorn, der oberste immer oben bliebe, ꝛc. Da aber der obere Punkt sich offenbar schneller, und der untere langsamer als der Mittelpunkt bewegt, da jener nach Osten rückt, dieser einen Augenblick still steht, da jeder Punkt bald östlich bald westlich, bald oberhalb bald unterhalb vom Mittelpunkt liegt, so findet eine Rotation statt, die Kugel rollt. Der Mond zeigt uns dieselben Phänomene. Der hintre Punkt beschreibt einen größern Kreis um die Erde, hat also eine schnellere Bewegung als der Mittelpunkt, und der der Erde zugekehrte Punkt bewegt sich langsamer. Im Frühlinge, wenn die Sonne im Widder erscheint, ist die hintre Seite des Vollmonds vom Mittelpunkt aus nach dem Zeichen der Wage gerichtet, die der Erde zugekehrte Seite nach dem

Widder; beym Neumonde haben beyde Seiten die entgegen geſetzte Stellung gegen den Mittelpunkt des Monds: ſie haben alſo einen Umlauf um dieſen Mittelpunkt gemacht, oder der Mond hat ſich umgedreht. Der Mond dreht ſich nämlich in einem ſideriſchen Monat um eine Axe die der Axe ſeiner Bahn parallel iſt, zugleich aber beſchreibt jene Axe ſelbſt in eben der Zeit eine Ellipſe um die Axe der Bahn.

Schwanken des Monds.

§. 48. Daß dieſe Vorſtellung im allgemeinen richtig iſt, wird dadurch außer allen Zweifel geſetzt, daß wir im ganzen nur immer die eine Seite des Monds ſehn. Fände der geringſte Unterſchied zwiſchen der rotatoriſchen und progreſſiven Bewegung des Mondes ſtatt, ſo würde ſich dieſer Unterſchied mit jedem Umlauf anhäufen, und wir würden ſeit den erſten Mondkarten die Hevel vor 160 Jahren verfertigte, eine große Verrückung der Flecken bemerken. Es iſt alſo gewiß, daß beyde Perioden des Umlaufs des Monds um die Erde, und ſeiner Umdrehung um eine Axe, aufs genaueſte übereinſtimmen. Allein dennoch ſehen wir nicht immer im ſtrengſten Sinne dieſelbe Seite des Monds. Flecken die dem Rande ſehr nahe ſind, nähern ſich demſelben merklich, und treten endlich ganz in die hintere Seite, indeß an der entgegen geſetzten Seite, Flecken die vorher unſichtbar waren, in die vordere Seite hervor treten: und dieſes ſo genannte Schwanken des Monds geſchieht ſowol nach der Seite oder der Länge, als nach oben und unten oder nach der Breite. Es iſt gleichſam eine zitternde Bewegung: denn dieſer Unterſchied häuft ſich nicht an, ſondern nach Jahrhunderten kehrt uns der Mond noch immer dieſelbe Seite zu. Alle dieſe Phänomene beruhen auf folgenden Gründen.

1) Von dem erſten Schwanken iſt der Grund leicht einzu ſehn. Die Rotation des Monds iſt, gleich der aller übrigen Weltkörper, vollkommen gleichförmig; ſeine progreſſive oder elliptiſche Bewegung iſt es aber nicht. Hieraus entſteht die natürliche Folge, daß die Geſchwindigkeit womit ſich der

Mond um seine Axe dreht, beständig der mittlern Geschwindigkeit des Monds in seiner Bahn gleich ist, aber bald größer bald kleiner als seine wahre. Wenn daher die wahre Bewegung des Monds seine mittlere übertrifft (bey der Erdnähe), so ist die uns zugekehrte Seite um eben so viel mehr nach Osten gerückt: die Flecken am östlichen Rande werden daher in die hintre, die am westlichen Rand in die vordre Seite treten; bey der langsameren Bewegung des Monds in der Erdferne ist es umgekehrt. Dieses Schwanken beträgt folglich so viel, als alle größern und kleinern Gleichungen des Monds.

2) Das Schwanken nach der Breite könnte nicht statt finden, wenn die Axe des Monds genau auf seiner Bahn senkrecht wäre; dies ist aber nicht der Fall: der Aequator des Monds fällt nicht mit seiner Bahn zusammen, sondern erhebt sich nördlich und südlich über sie; und der ganze Bogen beträgt $10\frac{1}{2}$ Grad. Es trit also bald der Nord- bald der Süd-Pol des Monds, nebst den hinter ihm liegenden Flecken, in die uns sichtbare Scheibe, und die Flecken rücken überhaupt um $10\frac{1}{2}°$ von Norden nach Süden hin und her.

3) Wenn der Mond beständig der Erde dieselbe Seite zukehrte, so würde eine gerade Linie durch beyder Mittelpunkte die Mondscheibe beständig in demselben Punkt A durchschneiden, der zugleich der Mittelpunkt der der Erde zugekehrten Hälfte seyn würde; und es würde so wenig für den Mittelpunkt der Erde ein Schwanken statt finden, als für den Punkt B in dem jene Linie die Oberfläche der Erde trifft, wenn diese gleichfalls in Ruhe wäre. Allein vermöge der täglichen Umdrehung der Erde, nimt in jedem Augenblick ein andrer Ort der Erde den Punkt B ein, oder B wird nach Osten geführt, so daß an diesem Orte ein östlich von A liegender Punkt in der Mitte der Mondscheibe erscheint, folglich auch die ganze ihm zugekehrte Scheibe eine andre Lage erhält, als für westlich liegende Oerter. Man begreift leicht, daß dieses Schwanken des Monds nach allen Seiten, da es von der

Rotation der Erde herrührt, eine Periode von 24 Stunden hat, und mit der Wirkung der täglichen Parallaxe des Monds einerley ist: man nennt es daher das tägliche Schwanken.

4) Endlich haben genauere Beobachtungen gezeigt, daß die Rotation des Monds in der That nicht vollkommen gleichförmig ist. Der Mond scheint keine vollkommene, wenigstens keine gleich dichte Kugel zu seyn, daher die Anziehung der Erde kleine Störungen in seiner Rotation hervor bringt, die ebenfalls ein Schwanken verursachen, welches man das physische Schwanken nennt, weil es aus einer wahren Unregelmäßigkeit der Umdrehung entsteht; da hingegen die übrigen Librationen bloß scheinbar oder optisch sind.

Diese merkwürdige Uebereinstimmung des Umlaufs und der Rotation des Monds bringt auf dem Monde selbst ein äußerst sonderbares Phänomen hervor. Vermöge der Rotation gehen Sonne, Planeten und Sterne auf dem Monde täglich auf und unter, ein solcher Tag aber dauert 27 mal 24 Stunden. Die Erde hingegen scheint den Seleniten unbeweglich am Himmel zu stehn. Die Bewohner der Mitte der hintern Hälfte haben vom letzten bis zum ersten Monds-Viertel Tag, und zur Zeit des Neumonds Mittag, zur Zeit des Vollmonds Mitternacht; auf dieser ganzen Hälfte aber sieht man die Erde niemals, und stellt vielleicht Wallfahrten an, um diesen großen Weltkörper einmal zu sehn, so wie die nahe am Rande wohnenden nur wenige Meilen reisen dürfen, um sich dieses herrliche Schauspiel zu verschaffen, und den hellen Tag mit der schönsten Nacht zu verwechseln. Die Bewohner der Mitte der vordern Hälfte haben vom ersten bis letzten Viertel die Sonne über dem Horizont, im Vollmonde Mittag, im Neumonde Mitternacht: die Erde, die ihnen 13 mal größer als die Sonne scheint, sehn sie beständig um das Zenit hin und her schwanken. Die am Rande der vordern Hälfte haben die Erde beständig im Horizont, und die verschiedenen Librationen des Monds verursachen, daß die Erde

theils hin und her tanzt, theils bald empor hüpft, bald sich unter dem Horizont verbirgt.

Rotation der Planeten.

§. 49. Die Rotation der Planeten läst sich, wie es bey der Sonne und dem Monde gezeigt ist, nur durch die Bewegung ihrer Flecken bestimmen, folglich nur bey denjenigen, deren Größe und Entfernung uns erlaubt, Flecken auf ihrer Oberfläche zu unterscheiden. Die große Entfernung des Uranus hat dies bisher unmöglich gemacht, und wir können aus seiner merklich abgeplatteten Figur nur schließen, daß er sich gleich der Erde, die dadurch an den Polen eingedrückt ist, um eine Axe, und zwar sehr schnell dreht, ohne die Periode seiner Rotation bestimmen zu können.

Auf dem Saturn bemerkt man deutlich fünf Streifen die seinem Aequator parallel sind, und H. Herschel hat aus einer lange fortgesetzten Beobachtung ihrer Bewegungen geschlossen, daß Saturn sich in 10 Stunden 16 M. 0,4 S. um eine Axe dreht, und daß sein Aequator mit der Ebne seines Ringes und der Bahnen seiner 6 untern Trabanten zusammen fällt. — Die Fläche des Ringes scheint sehr uneben oder mit sehr beträchtlichen Bergen bedeckt zu seyn, die sich uns alsdenn wenn wir uns in der Ebne des Ringes befinden, ihn folglich von seiner scharfen Kante wie einen feinen Faden sehn, als helle über diesem Faden hervor ragende Körper zeigen: so daß man glauben solte, daß die Umdrehung des Ringes sehr leicht durch Beobachtungen zu bestimmen seyn müste. Es ist daher in der That zu verwundern, daß zwey so sorgfältige Beobachter wie HH. Herschel und Schröter, aus ähnlichen Beobachtungen entgegen gesetzte Schlüsse gezogen haben. Der erstre vermuthet aus der Bewegung eines vorzüglich hellen Berges, womit auch die Bewegung der übrigen Flecken überein zu kommen schien, daß der Ring Saturns sich in 10 Stund. 32 M. 15,4 S. um seine Axe dreht, indeß H. Schröter aus seinen Beobachtungen, nach welchen die Flecken des Ringes ihre Lage nie ändern, mit Gewißheit schließt, daß

der Ring gar keine Rotation habe, oder vielmehr, da er uns und der Sonne beſtändig dieſelbe Seite zukehrt, daß er ſich während eines Umlaufs des Saturns um die Sonne, d. i. in 30 Jahren einmal um ſeine Axe dreht. Es iſt in der That eben ſo ſchwer, von dieſer ſonderbaren Periode einen phyſiſchen Grund ein zu ſehn, als zwiſchen zwey ſolchen Beobachtern zu entſcheiden.

Jupiter iſt beſtändig ſo wol mit Streifen, als mit hellen und dunkeln Flecken bedeckt, daher ſeine Rotation ſchon längſt außer allen Zweifel geſetzt war. Hn. Schröters ſorgfältige Beobachtungen haben das von Caſſini gefundene Reſultat vollkommen beſtätigt, daß nämlich Jupiter ſich in 9 Stund. 55 M. 50 S. oder 56 Min. um eine Axe dreht, und daß ſein Aequator faſt mit der Ebne ſeiner Trabanten-Bahnen zuſammen fällt.

Auch Mars zeigt uns ſo deutliche Flecken, daß ſeine Rotation mit großer Genauigkeit bekannt iſt. Nach H. Herſchel dreht ſich dieſer Planet in 24 St. 39 M. $21\frac{2}{3}$ S. welches mit den älteſten Beobachtungen ſehr gut überein kömmt, um eine Axe, die aber nicht wie man ſonſt glaubte, auf ſeiner Bahn ſenkrecht ſteht, ſondern ſo gegen ſie geneigt iſt, daß die Ebnen ſeiner Bahn und ſeines Aequators einen Winkel von 28° 42′ mit einander machen.

Venus erſcheint uns gleich dem ab oder zunehmenden Monde, mehrentheils wie ein ſichelförmiger, oder doch nur wenig erhabener Kreis-Ausſchnitt, nach ihrer verſchiedener Lage gegen die Sonne. Die Hörner oder Spitzen dieſes Ausſchnitts müſten daher während mehrerer Wochen ihre Geſtalt gar nicht ändern, wenn Venus eine ganz glatte Kugel wäre. Da ſie aber mit beträchtlichen Bergen bedeckt iſt, und ſich zugleich um eine Axe dreht, ſo werden dieſe Hörner verſchiedene Geſtalten annehmen, nachdem Berge oder Thäler ihre Stelle einnehmen: beſonders erſcheint das ſüdliche Horn zuweilen durch den Schatten benachbarter hoher Gebirge, die einen

Theil der Fläche bedecken, ganz abgerundet. Die periodische Aendrung dieser Phasen kömmt mit der Bewegung der Flecken, die man auf der Venus bemerkt, überein, ihre Rotations-Periode zu 23 St. 21 Min. zu bestimmen. Ihr Aequator scheint mit der Ebne ihrer Bahn den großen Winkel von 71° 55′ zu machen.

Völlig auf eben die Art hat H. Schröter die Rotations-Periode Merkurs zu 24 St. 5 M. 30 S. bestimmt. Sein Aequator scheint mit der Ebne seiner Bahn gleichfalls einen sehr großen Winkel zu machen.

Die vier neuen Planeten sind zu klein, als daß wir Flecken auf ihrer Oberfläche bemerken, und daraus ihre Rotation herleiten könnten.

Die Erfahrung zeigt uns also, daß es unter allen Planeten, die wir in dieser Rücksicht beobachten können, nicht einen gibt, der sich nicht um eine Axe drehte, und zwar in einer Zeit die nicht sehr von 24 Stunden verschieden ist: wir werden also desto weniger an der Rotation unsrer Erde zweifeln können (Th. §. 65.). Wir kennen die Rotations-Perioden aller Haupt-Planeten unsers Sonnen-Systems, mit Ausnahme der vier erst kürzlich entdeckten und des zu sehr entfernten Uranus, von dessen Rotation wir indessen durch eine unmittelbare Wirkung derselben, seine Abplattung, überzeugt sind. Es ist merkwürdig, daß die vier untern Planeten, Merkur, Venus, Erde, und Mars, sich fast in derselben Zeit von 24 St. um eine Axe drehn, indeß sich die obern und viel größern Planeten, Jupiter, Saturn, und wie es aus seiner starken Abplattung scheint, auch Uranus, in einer viel kürzeren, aber auch fast gleichen Zeit von 10 Stunden umwälzen.

Rotation der Trabanten.

§. 50. Obgleich die Trabanten im Verhältniß ihrer Entfernung so klein sind, daß es uns unmöglich ist, Flecken auf ihnen deutlich zu erkennen, so zeigen sich diese Flecken doch bey den Jupiters-Trabanten, wenn sie als schwarze Pünktchen vor der Scheibe Jupiters vorüber gehn; und überhaupt

beweist die veränderliche Stärke ihres Lichts, daß sie nicht allein gleich unserm Trabanten beträchtliche Flecken haben, sondern auf einer Seite mehr als auf der andern damit bedeckt sind. Nachdem sie uns nun ihre mehr oder minder glänzende Seite zukehren, erscheinen sie uns in stärkerem oder schwächerem Lichte: und dieser Umstand hat zugleich ein Mittel gegeben, die Rotation der vier Jupiters- und der fünf äußersten Saturns-Trabanten zu bestimmen. Aus den sorgfältigsten Beobachtungen, die besonders H. Schröter hierüber angestellt hat, folgt das äußerst merkwürdige Resultat, daß diese Trabanten gleich unserm Monde, dem Haupt-Planeten beständig dieselbe Seite zukehren, so daß sie sich genau in der Zeit eines Umlaufs auch einmal um eine Axe drehn. Wir kennen überhaupt 18 Trabanten oder Subaltern-Planeten unsers Sonnen-Systems. Unter diesen gibt es mehr als die Hälfte, nämlich 10, von denen die Beobachtungen beweisen, daß jene merkwürdige Art der Rotation bey ihnen statt findet: die übrigen, nämlich die 6 des Uranus, und die 2 innersten des Saturns, sind zu schwach an Licht, als daß sich solche Beobachtungen an ihnen anstellen lassen. Wir sind also vollkommen berechtigt, dasjenige was die Erfahrung in allen Fällen, wo sie befragt werden kann, ohne einen einzigen widersprechenden Fall aussagt, für ein allgemeines Natur-Gesetz anzunehmen, nämlich, daß alle Trabanten ohne Ausnahme beständig ihrem Haupt-Planeten dieselbe Seite zukehren, indem ihre Rotations-Periode mit ihrer Umlaufszeit genau übereinkömmt.

Aeußre Gestalt der Planeten.

§. 51. Daß alle Planeten, gleich dem den wir bewohnen, von Geschöpfen bevölkert sind, die Leben und Freude an den Brüsten der gütigen Natur einschlürfen, und deren Geist fähig ist, die Schönheiten die uns umgeben, zu fühlen, zu bewundern, und zu verstehn, ist ein so natürlicher Gedanke, daß kein Astronom an der Wahrheit desselben zweifelte, so bald man richtige Begriffe von der Größe der Planeten und

der Kleinheit unsrer Erde hatte. Ist man gleich auch hierin zu weit gegangen, indem man unsre Natur, unsre Seen und Flüsse, Berge und Thäler, Bäume und Thiere, selbst das zweyfüßige Thier ohne Federn, das sich selbst den König der Schöpfung nennt, jedem Weltkörper aufdringen wolte; so ist doch nicht zu läugnen, daß im ganzen zwischen unsrer Erde und den übrigen Planeten eine große Analogie statt zu finden scheint, die aber auf jedem Mikrokosmus auf andre Art modifizirt ist. Wir dürfen uns nur vorstellen, wie sich die Oberfläche unsrer Erde in jener großen Entfernung darstellen würde, und dieses Bild mit dem vergleichen, welches uns die Fernröhre von den Planeten geben. Wenn man die Erdkugel in zwey Hälften theilt, wovon die eine die alte Welt, die andre Amerika und den stillen Ozean einschließt, so wird die letztre unstreitig viel weniger Licht reflektiren, als die erstre. Sie wird eine weit ausgedehnte schwarze oder graue Fläche zeigen, die mit kleinern und größern leuchtenden Punkten (den Inseln der Südsee) bedeckt ist, von einem Pol zum andern von einem schmalen hellen Streifen (Amerika) durchschnitten wird, in dem sich fast der ganzen Länge nach die Schneegipfel der Kordilleras durch ein glänzenderes Licht auszeichnen. Aehnliche Abwechslungen wird man auf der andern Hälfte bemerken: das feste Land wird den Ozean, die Schneegipfel der Alpen, des Atlas, und der Mongolischen Gebirge werden die Landseen, und die arabischen oder afrikanischen Sandwüsten werden die Wälder der gemäßigten Erdstriche an Glanz übertreffen. Eben diesen Anblick geben uns im allgemeinen alle Planeten, die wir in dieser Hinsicht beobachten können. Helle Streifen wechseln mit dunkeln Flecken, glänzende Erhöhungen mit beschatteten Niedrungen ab. Alles zeigt uns, daß die Planeten, gleich unsrer Erde, Licht und Wärme von der Sonne empfangen, daß sie nicht weniger reich an Natur-Schönheiten, und für lebende, glückliche, und ver-

künftige Geschöpfe eben so bewohnbar sind; allein dies ist auch alles, was wir von ihnen wissen.

Ihre Verschiedenheit.

§. 52. Was schon das geringste Nachdenken vermuthen läst, daß die in der Anwendung ihrer ewigen einfachen Gesetze unerschöpflich mannigfaltige Natur sich auf jedem Weltkörper nicht sklavisch werde kopirt haben, das bestätigen die Beobachtungen vollkommen. Jeder Planet zeigt uns ein Gemälde desselben Originals, aber in ganz verschiedener Manier, und nach einem andern Maasstabe gearbeitet: selbst die äußre Form, der Rahm des Gemäldes ist verschieden. Wenn man bedenkt, wie zwergartig unsre Alpen und Kordilleras gegen die ungeheuren Berge auf der Venus und selbst auf dem kleineren Merkur sind, wie unbedeutend unsre stärksten Orkane und die in unsrer Atmosphäre vorgehenden Veränderungen gegen die Revolutionen sind, die sich uns in dem den Jupiter umgebenden Dunstkreise so deutlich zeigen, und gegen die Gewalt womit die Wolken in dieser Hülle fort gerissen werden; wenn man die verschiedenen Entfernungen der Planeten von der Sonne, und ihre mannigfaltige Lage gegen diese Urquelle des Lichts und der Wärme betrachtet, den weißen Schimmer Saturns mit der gelben Farbe Jupiters und dem rothen Lichte des Mars vergleicht, die Vesta gegen ihren 33 Millionen mal größeren Enkel Jupiter hält; wenn man einen Blick auf das eigenthümliche Aeußre wirft, welches uns gute Fernröhre von jedem Planeten zeigen: so wird man sich überzeugen, daß die Mannigfaltigkeit die uns die Natur schon auf unserm Erdball zeigt, vom Moose bis zur Tanne, von der Eiche zur Pappel, von der Milbe zum Elephanten, von den Ungeheuern des Meers zu den Sängern der Luft, von dem untersten der Affen bis zu einem Newton und Kepler, von den Eisthälern der Alpen zum brennenden Sande Libyens, von den nackten Einöden Lapplands zu den fruchtbaren Ufern des Ganges, ꝛc. nur ein geringer Vorschmack von dem Reichthum ist, den die Natur über die verschiedenen Planeten unsers Son-

nen-Systems ausgegossen hat. Das Studium der Natur kann unser ganzes Leben beschäftigen, ohne daß wir weiter als in die Hülle dringen, mit der die Natur ihre irdischen Geheimnisse umschleyert hat; noch vor kurzem kannten wir nur vier Elementar-Stoffe, und unsre Begriffe sind auf fünf Sinne eingeschränkt. Was für Bereichrung hat unsre Naturkunde bloß durch die Entdeckung des elektrischen Stoffs erhalten! Welche neue Welt würde sich entwickeln, wenn nur ein neuer Stoff von der Allmacht mit den bisherigen Elementen unsrer Erde verbunden würde! Wie ganz anders würde uns selbst unsre unveränderte Natur erscheinen, wenn wir mit einem neuen Sinn, von dessen Möglichkeit wir uns jetzt keine Vorstellung machen können, begabt würden, wenn ein neuer Kanal geöffnet würde, durch den uns unsre Begriffe zu geführt werden! Und wie viel tausend Sinne hat vielleicht die Natur in ihrer Werkstatt, wovon auf jedem Planeten andre, oder wenigstens in andern Kombinationen vertheilt sind! Wie natürlich ist es nun, noch einen Schritt weiter zu gehn, und sich vor zu stellen, daß die Mannigfaltigkeit die unter den Planeten eines Sonnen-Systems statt findet, mit stärkeren Zügen von Sonne zu Sonne, und mit noch stärkeren von Milchstraße zu Milchstraße bezeichnet ist! Auch aus ihren ungeheuren Entfernungen unterscheiden sich die Fixsterne durch ihr weißes, gelbes, rothes, blaues Licht. Welcher unendliche Reichthum öffnet sich hier der Einbildungskraft! Wie erweitert sich der Gesichtspunkt, aus dem uns die Natur erscheint! Der Menschenfreund findet hier Trostgründe über das Elend und die Greuel, an denen die Geschichte unsers Planeten so reich ist; und das Herz erhebt sich zu einer süßen Hofnung, jene Gegenstände die der Verstand zu ahnen vermochte, einst mit neuen Sinnen näher an zu schauen.

Sonnenflecken.

§. 53. Nächst dem Weltkörper den wir selbst bewohnen, ist keiner der unsre Aufmerksamkeit mehr verdient, als jene Quelle des Lichts und der Wärme, der Vegetation und des

thierischen Lebens, des Wechsels der Tages- und Jahres-Zeiten, der Mannigfaltigkeit unsers Klimas und des daraus fließenden Reichthums der Natur, der Bewegung unsers Planeten und aller unsrer astronomischen Kenntnisse. Es ist natürlich, daß wir uns nähere Kenntniß von der Beschaffenheit eines Weltkörpers zu erwerben suchen, der gleich einem Könige in der Mitte seines unermeßlichen Reichs thront, die Millionen seiner Unterthanen an unsichtbaren Fäden in ihrer gehörigen Entfernung hält, mit unumschränkter Macht über die Kultur jeder Provinz, über die ökonomischen Arbeiten und übrigen Beschäftigungen ihrer Einwohner, ja selbst über ihren Schlaf, ihre Gesundheit, und über die gröberen Gefühle der Kälte und Wärme, wie über die feineren des Frohsinns und der Schwermuth herrscht, der bis an die äußersten Gränzen seines großen Reichs nichts als Segen verbreitet, und dafür durch die genaue Befolgung seiner Gesetze belohnt wird. Es ist natürlich zu fragen: was ist dieser Zentral-Körper eigentlich, der seine Satelliten so sehr an Größe übertrifft? Ist er wirklich das Feuermeer, das er beym ersten Anblick scheint; oder ist er vielleicht näher mit uns verwandt, als man es bisher geglaubt hat?

Die Sonnen-Flecken, durch welche die Astronomen die Umdrehung der Sonne um ihre Axe mit solcher Genauigkeit bestimmt haben, wurden gleich nach Erfindung der Fernröhre entdeckt, und sind seit diesen 200 Jahren fast täglich beobachtet; aber nur erst seit der neuern Vervollkommnerung der Teleskope kann man mit einiger Sicherheit über ihre eigentliche Beschaffenheit urtheilen. Die Sonnenflecken würden schon wegen ihrer Größe merkwürdig seyn, die zuweilen so beträchtlich ist, daß das bloße Auge sie erkennt: man hat Flecken beobachtet, die mehr als 1′ oder 6000 Meilen im Durchmesser hatten, also fast viermal so groß als unser ganze Erdboden waren. Allein das merkwürdigste ist die unaufhörliche Veränderung, der alle Flecken unterworfen sind: große ziehn sich zu-

sammen, kleine erweitern sich, mehrere vereinigen oder trennen sich, und ändern ihre Größe, Gestalt und Farbe auf mancherley Art. Sie lassen sich am füglichsten unter drey Klassen bringen: die eigentlichen Flecken die ganz schwarz sind, die Halbschatten von gräulicher Farbe, die jene Flecken umgeben, und die Fackeln die sich durch einen helleren Glanz von der übrigen Oberfläche der Sonne auszeichnen; von den
13. Fig. beyden erstern gibt die 13te Figur ein Beyspiel. Es gibt Zeiten, da die Sonne Jahre lang von Flecken ganz frey, und andre, da sie ganz damit bedeckt ist. Nur selten hält ein Fleck mehrere Rotations-Perioden der Sonne aus.

Ihre Erklärung. §. 54. Man stellte sich ehemals die Sache gewöhnlich so vor, daß die Sonne ein wahres Feuermeer sey, auf dessen Oberfläche, durch Aufkochen, sich bald Blasen, bald Schaum, bald Kohlen, &c. zeigen. Indeß kam man bald von dieser gar zu groben Vorstellung zurück. Außer dem wesentlichen Unterschied zwischen dem Sonnen- und dem irdischen oder Küchen-Feuer, der durch die neuere Physik außer Zweifel gesetzt ist, läst es sich gar nicht denken, daß ein Körper der, so viel wir wissen, von keiner Seite neuen Stoff erhält, seit Jahrtausenden unaufhörlich brenne, ohne im geringsten an seiner Masse zu verlieren. — Man nahm also an, daß die Sonne ein nicht brennender dunkler Körper sey, von einem Feuermeer umgeben, in dem eine Art von Ebbe und Flut die erhabenen Theile des soliden Sonnen-Körpers bald mehr bald weniger zeige; allein gegen dieses Feuermeer lassen sich die nämlichen Einwendungen machen. — Die jetzt allgemein angenommene Hypothese, die sich durch die einfache und natürliche Art womit sie alles erklärt, jedem Kenner empfielt, verdankt man Hn. Herschel. Das wesentliche derselben ist in folgenden Sätzen enthalten.

1) Die Sonne ist, gleich unsrer Erde und den Planeten, ein solider, dunkler, nicht brennender Körper, von einer At-

mosphäre umgeben, in der jene Revolutionen vorgehn, die wir Flecken nennen.

2) Diese Atmosphäre ist ein wahres Lichtgewölke: sie besteht aus elastischen Flüssigkeiten, die theils mehr oder weniger durchsichtig, theils leuchtend sind, aber nicht wie unsre Wolken, von reflektirtem, sondern von eigenem Lichte. Wahrscheinlich fehlt es selbst den Planeten nicht an einem ähnlichen eigenthümlichen phosphorischen Lichte, wie unsre Nordlichter, der Schein des total verfinsterten Mondes, das Licht in der Nachtseite der Venus, ꝛc. zu beweisen scheinen. Dann wäre also die Sonne ein den Planeten ganz ähnlicher Körper, und der Unterschied bestände nur im mehr und weniger.

3) Diese Atmosphäre ist, gleich der unsrigen, in beständiger Bewegung und Revolution. Hier thürmen sich die Dünste in dicken Wolken über einander auf, dort zieht ein dünnes Gewölk über den Körper der Sonne einen durchsichtigen Schleyer; andre Stellen sind ganz unbedeckt, oder doch nur von ganz durchsichtigen nicht leuchtenden Dünsten bedeckt, wie die Erdstriche die einen heitern Himmel genießen.

4) Was wir also sehn, ist nicht die Sonne selbst, sondern die sie umgebende leuchtende Atmosphäre. Nur hin und wider scheint von Zeit zu Zeit der wahre Sonnenkörper durch, der also in der That kleiner seyn muß, als unsre Messungen ihn geben.

5) Die schwarzen Flecken sind nichts anders als solche freye Stellen, Oeffnungen in den Wolken, durch welche wir den dunkeln Sonnen-Körper selbst sehn: und in der That zeigen sich diese Flecken, wenn sie in den Rand der Sonne treten, wie wirkliche Einschnitte oder Vertiefungen.

6) Der sie umgebende Halbschatten ist der dünnere Rand der Wolken, Untiefen durch welche der Sonnen-Körper matt durch scheint, so wie wir auf der Erde gegen das Ende einer dicken Wolke schon die Sterne durchschimmern sehen.

7) Die Fackeln sind hoch angehäufte leuchtende Dünste, Erhöhungen, Wolken-Gebirge: daher sie gegen den Rand der Sonne größer und glänzender scheinen, weil wir da diese Berge nicht von oben, sondern von der Seite im Profil sehn.

8) Die leuchtende Sonnen-Atmosphäre erhebt sich vielleicht zu einer Höhe von 500 Meilen.

9) Der eigentliche Sonnen-Körper hat Unebenheiten, Thäler, und Berge die vielleicht 100 Meilen hoch sind. Dies beweisen die tiefern und flacheren Einschnitte, die die Flecken im Sonnen-Rande machen; und es läst sich daraus erklären, warum so oft Flecken an derselben Stelle wider erscheinen: dies sind nämlich Berge, die wegen ihrer Höhe, bey der geringsten Veränderung in der Atmosphäre, ehr als andre Stellen über den Wolken hervor ragen.

10) Die Wolken der obern Sonnen-Atmosphäre sind leuchtender Natur, die der untern aber dunkler, wie die unsrer Erde. Diese planetarischen Wolken werden bloß von den obern erleuchtet, haben also ein schwächeres Licht oder Halbschatten. Außerdem gibt es theils unzählige Oeffnungen zwischen den Wolken (so wie wenn der heitre Himmel bey uns von vielen kleinen Wolken, die der gemeine Mann Schäfchen nennt, bedeckt ist), theils haben die Wolken an sich eine wolligte lockigte Form. Aus allem diesem entsteht die bunte marmorirte Farbe der Oberfläche der Sonne.

11) Die untre dunkle Atmosphäre dient zu einem Vorhange, der die Bewohner der Sonne vor einem blendenden Lichte schützt, so daß, wenn man überdem annimt, daß die Körper so wol in diesem Dunstkreise als auf der Oberfläche der Sonne von der Art sind, daß sie sich nicht leicht mit den Lichtstralen chemisch verbinden — welches auch daraus zu folgen scheint, daß das Licht aus der Sonnen-Atmosphäre so reichlich nach allen Seiten ausströmt, statt von der Sonne angezogen zu werden — der Sonnen-Körper vielleicht nicht viel mehr erleuchtet ist, als Venus oder Merkur.

12) Die schnelle Bewegung, und Aendrung in der Form der Oeffnungen und Untiefen beweist, daß es auf der Sonne sehr starke Winde gibt.

Physische Beschaffenheit der Sonne.

§. 55. Es scheint demnach, daß die Sonne ein den Planeten ganz ähnlicher, an sich kalter und dunkler Körper ist, der sich gleich ihnen um eine Axe dreht, mit Bergen und Thälern bedeckt, und von einem dicken durchsichtigen Dunstkreise umgeben ist, in dem Wolken vom Winde umher getrieben werden, und der über sich eine feinere stark leuchtende Atmosphäre trägt, von der die Sonne, gleich den Planeten, ein sanftes Licht und milde Wärme empfängt. Es ist jetzt längst ausgemacht, daß die Sonnenstralen nicht an sich selbst warm sind, sondern nur in so fern Wärme hervor bringen, als sie sich mit dem in den Körpern, auf die sie stoßen, enthaltenen Wärmestoff verbinden, so wie ein Schlag des kalten Stahls an den kalten Stein das gebundene Feuer eines ganzen Pulvermagazins in Thätigkeit setzt. Dies beweist die große Kälte der höhern Luftgegenden, und das ewige Eis der Berge, deren über den Wolken hervor ragendes Haupt den Sonnenstralen unmittelbar ausgesetzt ist. Aus eben dem Grunde wird weder das Brennglas selbst, noch die in dessen Brennpunkt befindliche Luft erhitzt, wenn gleich ein Stück Bley an eben der Stelle, durch die Entbindung seines Wärmestoffs, in wenigen Sekunden schmilzt. Wodurch aber der Lichtstoff, der unaufhörlich aus der Sonne ausströmt, ersetzt werde, ist eine Frage, die man bey jeder andern Hypothese über die Natur der Sonne thun muß, ohne sie beantworten zu können. Es ist wahrscheinlich, daß das von unzähligen Sonnen ausströmende, von den Planeten zurück geworfene, nach allen Richtungen sich durchkreuzende Licht, irgendwo wieder gesammelt, oder vielmehr von den selbstleuchtenden Körpern nach und nach wider angezogen wird. Es ist möglich, daß von den unzähligen teleskopischen Kometen, die gar keine soliden Kerne, sondern bloß leuchtende Dünste zu enthalten

scheinen, manche dazu bestimmt sind, in die Sonne zu stürzen, oder wenigstens ihre obere Atmosphäre durch einen Theil ihres ungeheuren Schweifs mit neuem Lichtstoff zu versorgen. Vielleicht sind auch jene Lichtmassen (§. 41.), die nicht wie die Nebelflecken aus Sternen zu bestehen scheinen, Magazine gesammelten Lichts, aus denen die Sonnen ihren erschöpften Vorrath von Zeit zu Zeit wider ersetzen. Das gewisseste ist, daß wir so vieles in der Natur nicht erklären können.

Die großen oft plötzlichen Aendrungen, die wir in der Sonnen-Atmosphäre, dieser Quelle unsers Lichts und unsrer Wärme, vorgehn sehen, sind vielleicht die Ursache von manchen bisher unerklärlichen Revolutionen in der Witterung und im Klima. Es ist bekannt, daß die Lichtstralen, außer der Wirkung die unser Auge empfindet, nicht allein den Wärmestoff entbinden, sondern auch viele andre physische Wirkungen hervor bringen, die sich besonders am Wachsthum der Pflanzen zeigen. Was ist also natürlicher als der Gedanke, daß die Wärme oder Kälte, die Feuchtigkeit oder Trockenheit, und überhaupt die Fruchtbarkeit manches Jahres, aus der größern oder geringeren Anzahl der Sonnenflecken entsteht? Könnten nicht sogar plötzliche Revolutionen in der Sonnen-Atmosphäre, deren Wirkung sich schon nach 8 Minuten auf der Erde äußern muß, hier eben so plötzliche Aendrungen des Wetters verursachen? Ein auffallender Umstand ist es, daß die Periode von etwas mehr als 27 Tagen, nach der die Sonne der Erde wider dieselbe Seite zukehrt (§. 46.), aufs genauste mit der Länge des Monats überein trifft. Wenn nun, wie es gar nicht unwahrscheinlich ist, beyde Seiten des Sonnenkörpers nicht gleiche physische Beschaffenheit haben, so muß daraus in unsrer Witterung eine Periode von 27 Tagen entstehn, der wir vielleicht manche Aendrungen zu danken haben, die bisher bloß auf Rechnung des Monds geschrieben sind.

Eine sehr bekannte Erscheinung, die man gewöhnlich für die feinsten und am weitsten ausgedehnten Theile der Sonnen-

Atmosphäre hält, ist das so genannte Zodiakal-Licht, ein milchfarbiger einem schwachen Nordlichte ähnlicher Schimmer, der sich besonders im Anfange des Frühlings nach der Abend-Dämmerung über dem westlichen, und am Ende des Herbstes vor der Morgen-Dämmerung über dem östlichen Horizonte, in Gestalt eines sehr spitzen Dreyecks erhebt, welches in der Richtung des Sonnen-Aequators (§. 46.) sich von 50° bis 100° von der Sonne erstreckt. Es ist begreiflich, daß diese feine Materie durch die aus der Rotation der Sonne entstehende Schwungkraft, besonders in der Richtung des Aequators fort geschleudert wird; aber es ist schwer zu begreifen, daß sich die Sonnen-Atmosphäre bis jenseits der Mars-Bahn (wie der Winkel von 100° beweist) erstrecken sollte: daher noch immer etwas räthselhaftes bey diesem Phänomen ist. Zodiakal-Licht.

§. 56. Wenn wir das, was uns die Naturkunde von unsrer Erde lehrt, mit dem vergleichen, was die Beobachtungen von dem Zentralkörper unsers Systems (der Sonne), und einem der grösten und fernsten Planeten (dem Saturn) sagen, so dürfen wir erwarten, dadurch eine richtige Kenntniß wenigstens von den großen Zügen zu erhalten, die den Karakter unsers Sonnen-Systems bestimmen, und es vielleicht von andern Systemen unterscheiden. Es wird uns dann einen unterhaltenden Genuß gewähren, an den nähern Planeten, die wir schärfer beobachten können, und die uns gleichsam einheimischer oder näher verwandt sind, jene allgemeinen Resultate bestätigt zu finden. Das erste was uns die Beobachtungen zeigen, ist, daß alle Haupt- und Neben-Planeten unsers Systems Kugeln sind, deren Axen, gleich der der Erde, durch die Umwälzung kaum merklich eingedrückt sind, und daß sie, wie die schnellen Aendrungen ihrer Flecken, ihrer Farbe und ihres Lichts beweisen, von einer Atmosphäre umgeben sind, in der, wenn sie gleich nicht gerade aus solcher Luft und solchen Dünsten besteht wie die unsrige, doch durch die Wirkung der Sonnenstralen, der Winde, und chemischer Auflösungen und Aehnliche Bildung der Planeten,

Präcipitationen, eben solche, und vielleicht weit größre Revolutionen vorgehn. Auf den nähern Planeten die wir gleichsam mikroskopisch untersuchen können, bemerken wir deutlich die vornehmsten Wirkungen unsrer eigenen Atmosphäre, und finden überhaupt ganz das Bild unsers Planeten wider. Wir bemerken auf dem Monde und der Venus die stralenbrechende Kraft des Dunstkreises; wir sehn, wie die Dämmerung die Ankunft des Tages verkündigt, oder mit sanfterem Licht auf die finstre Nacht vorbereitet; wir erkennen Berge und Thäler, höher und tiefer als die unsrigen, und glauben, die Abwechslung reitzender fruchtbarer Ebnen mit rauhen felsigten Gegenden, ja sogar Spüren von dem Kunstfleiße ihrer Bewohner gewahr zu werden. Indeß blicken bey aller dieser Analogie, wie es zu erwarten war, so viele Eigenheiten und Abweichungen hervor, daß der durch vollkommene Fernröhre geschärfte Blick mehr dient, unsern Durst nach näherer Kenntniß dieser uns verwandten Weltbürger und ihrer Wohnörter zu reitzen, als zu löschen, und selbst in dem kaltblütigsten Beobachter eine Sehnsucht und Hofnung erregt, zu dieser anschauenden Kenntniß einst zu gelangen.

Topographie des Saturns und seines Ringes,

§. 57. Saturn nimt in unserm Sonnen-System einen sehr ausgezeichneten Platz ein, nicht allein wegen seiner beträchtlichen Größe, sondern weil er als Zentralkörper das größte untergeordnete System regiert, welches aus sieben Trabanten und einem ungeheuren Ringe besteht, den man als eine Pflanzschule oder als Trümmer unzähliger Trabanten ansehn kann. Saturn hat fünf sehr merkliche Streifen, die sich dem Aequator parallel über ihn weg ziehn, und die wahrscheinlich atmosphärischer Art sind und vom Klima abhängen, wenigstens durch ihre schnellen Aendrungen eine starke Atmosphäre Saturns beweisen. Diese Atmosphäre zeigt sich auch daran, daß die Trabanten, wenn sie vom Saturn bedeckt werden, 15 bis 20 Minuten an seinem Rande an zu hängen scheinen, ehr sie verschwinden. Sein von der Sonne abgewandter Pol,

der Winter hat, ist gewöhnlich glänzender weiß als der andre, gleich als wäre er mit Eis oder Schnee bedeckt. — Besonders merkwürdig ist seine sonderbare Gestalt, die bisher nur von Hn. Herschel bemerkt ist. Saturn ist nämlich nicht allein wegen seiner schnellen Umwälzung (§. 49.) an den Polen sehr stark abgeplattet (um den 11ten Theil), sondern er ist auch unterm Aequator eingedrückt, als hätte sich hier die Masse los gerissen, die den Ring bildet, so daß seine zwey grösten Durchmesser in der Breite von 43° liegen. Er hat daher fast die Figur eines Quadrats, oder vielmehr eines in der Richtung des Aequators nur wenig länglichten Rechtecks, dessen vier Ecken abgerundet sind, wie die 14te Figur zeigt. — Das Licht dieses Planeten ist ein blasser mattweißer Schimmer, der Bleyfarbe ähnlich. — Nach den Messungen Hn. Schröters sind die Dimensionen Saturns und seines Ringes folgende. Aeußrer Durchmesser des äußern Ringes *ab* (14. Fig.) = 40565 Meilen; seine Breite *ae* = *bf* = 1379 Meilen; leerer Raum zwischen beyden Ringen, *eg* und *fh* = 568 Meilen; äußrer Durchmesser des innern Ringes, *gh* = 36671; seine Breite, *cg* = *dh* = 3935; Durchmesser der Saturns-Kugel, *kl* = 16769: mithin der Raum zwischen dem Saturn und seinem Ringe, *hc* = *ld* = 6016 Meilen. Obgleich es noch niemandem geglückt ist, durch diesen Zwischenraum Sterne zu sehn, so kann man doch nicht daran zweifeln, daß es ein leerer Raum ist: dies beweist offenbar der Schatten den der Ring auf den Saturn wirft, und der nicht mit dem Ringe, wie es sonst seyn müste, zusammen hängt, sondern von ihm durch ein beträchtliches Stück der hellen Saturns-Scheibe getrennt ist. Die Dicke oder Schärfe des Ringes schätzt H. Schröter, aus der Breite des Schattens den er auf den ♄ wirft, zu 113¼ Meilen: die ganze Masse des Ringes beträgt demnach 65040 Millionen Kubik-Meilen, welches ungefähr der 38ste Theil von der Saturns-Kugel, 24 mal so groß als die Erdkugel, und 1100 mal so groß als

14. Fig.

der Mond ist. — Eine Bemerkung die H. Schröter gemacht hat, daß man den Ring, wenn bloß seine scharfe Kante von der Sonne erleuchtet ist, zuweilen gar nicht, zuweilen nur in einem gräulichen Lichte sieht, läst sich nicht aus Veränderungen in unserm Luftkreise erklären, weil zu derselben Zeit der Schatten des Rings auf dem ♄ sich vollkommen schwarz und scharf zeigt, sondern beweist, daß der Ring selbst mit einer Atmosphäre umgeben ist, in der große Veränderungen vorgehn. Eben dies folgt aus einer Beobachtung die H. Herschel gemacht hat. Als nämlich der Ring die südliche Halbkugel Saturns fast ganz bedeckte, so daß nur ein sehr kleiner Theil der Gegend um den Südpol unter dem Ringe hervor ragte, die nordliche aber ganz frey war, weil der Ring dort hinter dem ♄ lag, so schien der Südpol nicht so abgeplattet, sondern mehr gekrümmt als gewöhnlich; welches nur eine Wirkung der Stralenbrechung seyn konnte, die die Lichtstralen vom Südpol des ♄ bey ihrem Durchgange durch die Atmosphäre des Ringes litten. Aehnliche Aendrungen zeigen sich in der Atmosphäre Saturns. — H. Schröters Beobachtungen beweisen ferner, daß der Ring eine sehr solide zusammen gedrückte Masse ist. Seine Fläche ist auf beyden Seiten mit ungeheuren Bergen von der fast unglaublichen Höhe von 200 bis 300 Meilen bedeckt, die selbst über den Rand des Ringes hervor treten. Dies zeigt sich deutlich, wenn das Auge durch die Ebne des Ringes geht, ihn folglich von der scharfen Kante betrachtet: man sieht alsdenn nicht die feine Linie selbst, sondern einzelne helle Punkte. Diese hervor ragende Berge sind demnach 3 bis 6 mal so hoch, als die halbe Dicke des Gewölbes von dem sie getragen werden, und viel größer als der ganze Planet Vesta. Merkwürdig ist es, daß die Berge auf der nordlichen Seite des Ringes mit denen auf der südlichen genau zusammen fallen, so daß daraus eine Masse entsteht, deren ganze Dicke 719 Meilen beträgt, folglich mehr als den Durchmesser der meisten Traban-

ten, der vier neuen Planeten, und selbst des Merkurs. Der ganze Ring scheint also nichts anders zu seyn, als eine Anhäufung solcher ungeheurer Klumpen, die sich zusammen geschoben und um den ♄ in einer geringen Entfernung gewölbt haben, indeß 7 ähnliche Klumpen sich davon los gerissen, zu Kugeln gebildet haben, und nun in größern Entfernungen einzeln ihren Umlauf um den ♄ verrichten. Diese vielleicht felsenartigen Berge sind wahrscheinlich die Ursache des starken Lichts, das der Ring reflektirt, indem er mehrentheils heller scheint als ♄ selbst, obgleich er die Sonnenstralen nie senkrecht, sondern nur unter dem kleinen Winkel von $31\frac{1}{2}^{\circ}$ empfängt, mithin an sich viermal glänzender als ♄ seyn muß. Durch starke Vergrößrungen wird das Licht Saturns gelblich, das des Rings bleibt weiß, und läst sich auf dem ♄ selbst unterscheiden.

Man hat oft von dem prächtigen Schauspiel und der starken Erleuchtung geredet, welche das ungeheure Lichtgewölbe des Ringes den Bewohnern Saturns gewährt. Bey näherer Ansicht findet sich aber, daß dieses Gewölbe ihre Tage und Nächte sehr verdunkeln, und daher einen ganz andern Zweck haben muß, als die Erleuchtung Saturns. Die Bewohner beyder Hemisphären sehen den Ring, weil er im Aequator liegt, nur wenn sich die Sonne auf ihrer Seite des Aequators befindet, d. h. wenn es bey ihnen Sommer ist, nicht aber im Winter: er kann also nichts zur Erleuchtung ihrer langen Winternächte beytragen. Allein selbst im Sommer leuchtet er ihnen größtentheils nur bey Tage, weil er bey Nacht durch den Schatten der hintern Seite Saturns verdunkelt wird: so daß er ihnen im ganzen nicht viel mehr Dienste thut, als uns der Mond bey Tage. Weit schlimmer ist es im Winter, da die Sonne einem großen Theile Saturns vom Ringe bedeckt wird, so daß es dort Zonen gibt, die Jahre lang totale Sonnenfinsternisse haben, folglich auch dem Ringe kein Licht zu schicken können. Ueberhaupt sehen die

Saturnsbürger bey Nacht den Ring entweder gar nicht, oder doch nur viel weniger als die Hälfte (weil der größre Theil unterm Horizonte liegt), wovon noch sehr viel, wegen des Schattens den ♄ darauf wirft, verloren geht. Die beyden Polar-Zonen Saturns bis $25\frac{3}{4}°$ vom Pol sehn den Ring nie, weil er sich nie über ihren Horizont erhebt. Von 26° bis $37\frac{1}{2}°$ sieht man nur einen Theil von der Breite des Ringes. Von $37\frac{1}{2}°$ bis zum Aequator erhebt sich zwar der Ring seiner ganzen Breite nach über den Horizont, allein in der Gegend des Aequators zieht sich diese Breite (weil der Ring sich immer schiefer darstellt) so enge zusammen, daß er unterm Aequator selbst, wo er nur nach der scharfen Kante erscheint, vermuthlich ganz unsichtbar ist. Am breitsten (13° breit) erscheint er da, wo sich nur eben ein kleiner Theil von ihm über den Horizont erhebt.

des Jupiters und seiner Trabanten.

§. 58. Der gröste Planet unsers Sonnen-Systems zeichnet sich, gleich dem ♄, durch breite dunkle Streifen aus, die oft unterbrochen sind, aber bey allen periodischen Aendrungen, bey ihrem auffallenden Licht- und Farben-Wechsel, bey ihrer bald größern bald geringeren Zahl von 2 bis 8, doch beständig dem Aequator parallel sind, so daß sie dem Jupiter die Gestalt einer künstlichen Erdkugel mit ihren Zonen geben (15. Fig.). Der Winkel den der Aequator dieses Planeten mit seiner Bahn macht, oder seine Schiefe der Ekliptik ist so geringe (nur 3°) (§. 49.), daß der Wechsel der Jahreszeiten dort fast unmerklich seyn muß; allein eben deswegen müssen diese beständigeren Jahrszeiten einen bleibenderen und stärkeren Unterschied des Klimas hervorbringen, als auf der Erde, und es ist nicht zu verwundern, daß die Natur der Oberfläche Jupiters und seiner Atmosphäre dadurch einen Eindruck erhält, der sich unsern Fernröhren zeigt. Indeß machen die oft plötzlichen Aendrungen die darin vorgehn, so wie die schnelle Bewegung der einzelnen hellen und dunkeln Flecken, es mehr als wahrscheinlich, daß die dunkeln Streifen und Flecken

15. Fig.

Wolken ſind, und daß Jupiter beſtändig in einer dicken Atmoſphäre eingehüllt iſt, durch die wir nur an einzelnen Stellen, die uns wie Lichtflecken oder Fackeln erſcheinen, ſeine eigentliche Oberfläche erblicken. Die Bewegung der Streifen und Flecken, die beſtändig dem Aequator parallel geſchieht, hat eine auffallende Aehnlichkeit mit den beſtändigen Winden in der heißen Zone unſrer Erde; aber die ſchnellere Bewegung, und der größre Wechſel des Lichts, der Farben und der Geſtalt, beweiſen, daß in der Atmoſphäre Jupiters weit ſtärkere Winde herrſchen, und überhaupt größre Revolutionen vorgehn. Nach H. Schröters Beobachtungen ſcheint es ſogar, daß die beſtändigen Winde auf dem ♃ nicht wie bey uns aus Oſten, ſondern aus Weſten wehen, wiewol es auch nicht an andern Winden fehlt; daß ferner dieſe Winde unſre Orkane an Schnelligkeit und Stärke weit übertreffen, ja zuweilen die faſt unglaubliche Geſchwindigkeit von mehreren 1000 Fuß in 1 Sekunde haben. Es möchte indeß wol natürlich ſeyn, dieſe letztern Phänomene nicht für eigentliche vom Winde bewegte Wolken, ſondern für Meteore zu halten, die gleich unſern Blitzen oder Nordlichtern die Luft durchkreutzen. Die Revolutionen in der Atmoſphäre Jupiters ſind ſo bedeutend, ſo ausgedehnt, und ſo plötzlich, daß oft in wenigen Stunden ganze Zonen (beſonders um den Polen) grau gefärbt werden, und ſich wider völlig aufheitern. Es iſt nicht unwahrſcheinlich, daß die Wirkung ſeiner vier Monden hiezu viel beyträgt, da ſchon unſer Mond einen ſo fühlbaren Einfluß auf unſern Dunſtkreis hat. Bey einer ſo merklichen Atmoſphäre kann man wol nicht zweifeln, daß es dieſem Planeten ſo wenig, wie unſrer Erde, an Flüſſen, Meeren, ꝛc. fehlt. — Da ſich ♃ bey einem 11 mal größern Durchmeſſer (§. 11.) in 10 Stunden einmal um ſeine Axe dreht (§. 49.), ſo hat ein Punkt in ſeinem Aequator eine 26 mal ſchnellere Bewegung als auf der Erde, woraus alſo auch eine weit ſtärkere Abplattung entſtehn muß. Sie fällt in der That ſchon durch mit-

telmäßige Fernröhre auf, und die Axe Jupiters ist um $\frac{1}{12}$ kleiner als der Durchmesser seines Aeqvators. — Bey den Planeten die zu entfernt von uns sind, um gleichsam mikroskopische Beobachtungen über ihre Berge, Meere, ꝛc. an zu stellen, gibt uns ihre Farbe und die Stärke ihres Lichts, die bey jedem verschieden ist, ein allgemeines Bild von ihrer eigenthümlichen natürlichen Beschaffenheit. Jupiter glänzt immer in einem schönen gelben Lichte.

Die schnellen Aendrungen die man an den Flecken der Jupiters-Trabanten bemerkt, wodurch diese oft in wenigen Tagen fast ganz verdunkelt werden, und eben so bald wider in hellem Lichte prangen, beweisen, daß auch sie eine Atmosphäre haben, in der große Revolutionen vorgehn. H. Schröter hat Flecken (Wolken?) auf ihnen bemerkt, die sich auf 300 Meilen ausdehnten. Das Licht des I und III Trabanten ist immer weiß, das des II bald weiß, bald bläulicht, bald aschfarbig, das des IV oft trübe und orangefarbig. Es scheint also, der II und IV haben die stärkste Atmosphäre.

der vier neuen Planeten,

§. 59. Die im Anfange dieses Jahrhunderts entdeckten vier Planeten, oder wie sie H. Herschel wegen ihrer äußerst geringen Größe nennt, Asteroiden, unterscheiden sich nicht allein hiedurch von den übrigen Planeten, sondern noch wesentlicher durch die ungeheure Atmosphäre, in der sie gleich den Kometen wie in einem Nebel eingehüllt sind, so daß man sie in der That wie das Glied ansehen kann, welches die Kette der Planeten mit der der Kometen verbindet. Dieser kometenartige Nebel ist wenigstens bey Ceres und Pallas so merklich, daß ihr scheinbarer Durchmesser dadurch beträchtlich vermehrt wird. H. Schröter, dem wir diese Beobachtungen verdanken, konnte den Kern von der ihn umgebenden Atmosphäre deutlich unterscheiden. Oft war der Kern wie eine kreisrunde Scheibe scharf begränzt, und ließ sich, so wie die umgebende Licht-Atmosphäre, messen. Zuweilen sah man bloß den Licht-Nebel, in dem der Planet schwimmt; von der

Scheibe selbst aber zeigte sich nichts, auch war der Durchmesser dieser Atmosphäre sehr verändert. Nach H. Schröters Messungen beträgt der Halbmesser der Ceres 176 Meilen; die Ausdehnung oder Höhe ihrer Atmosphäre zu verschiedenen Zeiten 65 bis 147 Meilen, ist also fast dem Halbmesser des Planeten selbst gleich. Der Halbmesser der Pallas beträgt 227, die Höhe ihrer Atmosphäre 102 Meilen. Man muß dabey nicht vergessen, daß dies nur der untre Theil der Atmosphäre ist, der dicht genug ist, um das Sonnenlicht bis zur Erde so stark zu reflektiren, daß sein Durchschnitt gemessen werden kann; also derjenige Theil, der bey den übrigen Planeten uns ganz unsichtbar ist, und der auf der Erde sich höchstens auf 10 Meilen erstreckt. Wie weit mag sich also die feinere Atmosphäre ausdehnen! und was für ungeheure Revolutionen müssen in einem Dunstkreise vorgehn, der nicht allein den unsrigen 14 mal, und im Verhältniß der Größe beyder Planeten 70 mal übertrifft, sondern der sich von Zeit zu Zeit um das doppelte ausdehnt, oder auf die Hälfte zusammen zieht! Von welchen großen Natur-Szenen muß ein Planet der Schauplatz seyn, der so wie es bey der Ceres der Fall ist, sich uns bald in einem röthlichten, bald in weißem, bald in bläulichtem Lichte zeigt!

An der Juno bemerkt man zwar nichts von einem kometenartigen Nebel: ihre Atmosphäre zeigt sich uns, wie die der übrigen Planeten, nur durch ihre größre oder geringere Durchsichtigkeit; indeß sieht man aus ihrem bald stärkern bald schwächern Lichte, daß ihre Atmosphäre verhältnismäßig weit größer ist, und beträchtlichere Aendrungen leidet.

Ueber die **Vesta** hat man bisher wenig topographische Beobachtungen angestellt. Etwas sehr auffallendes ist ihr außerordentlich starkes Licht, woraus man schließen möchte, daß sie ein sehr harter, felsigter und gebirgigter Körper ist, den nur eine schwache Atmosphäre umgibt. Obgleich dieser Planet uns nur unter einem Winkel von $\frac{1}{2}''$ enscheint, also nur halb

so groß als der IV Saturns-Trabant, den man doch nur durch sehr gute Fernröhre sieht, so zeigt er sich doch in einem sehr glänzenden Lichte, das gleich dem der Fixsterne sogar Stralen wirft.

des Mars, §. 60. Mars ist der äußerste der Planeten, die uns so nahe sind, daß wir ihre Phasen bemerken: dies ist besonders der Fall, wenn er mit der Sonne in Qvadratur ist, also um 6 Uhr Morgens oder Abends durch den Meridian geht, und einen Theil seiner von der Sonne erleuchteten Halbkugel von uns abwendet; doch kann er nie sichelförmig erscheinen, sondern höchstens nur in der nicht völlig runden Gestalt, die der Mond 3 Tage vor oder nach der Opposition hat. — Sein Licht ist roth, aber nicht lebhaft, fast wie glühendes Eisen (*). — Dieser Planet, der 6 mal kleiner als die Erde, und nur 8 mal größer als der Mond ist, hat sehr viele wesentliche Aehnlichkeiten mit unsrer Erde. Sein Jahr ist nicht völlig zweymal so groß als das unsrige, sein Tag nur wenige Minuten länger als unsre 24 Stunden, seine Schiefe der Ekliptik, von welcher die Jahreszeiten abhängen, nur um 5° oder den fünften Theil größer als die unsrige, so daß sein Sommer und Winter nicht allein fast zweymal so lange anhält, sondern auch an sich, besonders in der kalten Zone, strenger ist. Auch kann seine Atmosphäre nicht sehr von der unsrigen verschieden seyn, da die Fixsterne ganz nahe an seinem Rande nichts von ihrem Lichte verlieren. Man kann daher auf diesem Planeten fast die nämlichen Natur-Erscheinungen erwarten, als auf unsrer Erde. — Mars hat nicht allein gleich dem ♀ und ♄, dunkle seinem Aeqvator parallele Streifen, sondern auch viele einzelne Flecken. Die schnellen Aendrungen, die sowol die Streifen als Flecken in ihrer Ge-

---

*) Daher sein griechischer Name πυρόεις, der feurige (*Aristot. de mundo*).

stalt, Größe und Farbe leiden, ihr plötzliches Entstehen und Verschwinden, lassen keinen Zweifel, daß sie meteorischer Natur sind. H. Schröter hat bemerkt, daß es in der Atmosphäre des ♂ Wolken gibt, die 20 Fuß in 1 Sekunde durchlaufen, welches beweist, daß es dort Winde gibt, die dieselbe Geschwindigkeit haben, wie die auf unsrer Erde. — H. Herschel hat lange Zeit mit großer Aufmerksamkeit an beyden Polen des ♂, wie beym ♄ (§. 57.), beträchtliche Flecken von einem sehr weißen Lichte beobachtet, die sogar, wenn der Pol nahe am Rande liegt, über demselben hervor zu ragen scheinen; und er ist geneigt, sie für Eisfelder zu halten, die bey dem strengen und anhaltenden Winter dieses Planeten gar nicht unwahrscheinlich sind. Dies scheint dadurch bestätigt zu werden, daß diese weiße Stellen alsdenn, wenn der Nord- oder der Süd-Pol nach seinem Winter von mehr als 11 Monaten zuerst wider von der Sonne beschienen wird, weit größer sind, als gegen das Ende seines Sommers, wenn er ein Jahr lang von den Sonnenstralen erwärmt ist. — Die Kugel des ♂ hat durch ihre tägliche Umdrehung eine merkliche Abplattung erhalten, so daß der Durchmesser des Aequators und die Axe sich wie 16 zu 15 verhalten. — Die 16te Figur zeigt so wol die Phase des ♂, als seine hellen Polar-Zonen und einige seiner dunkeln Flecken: sie ist aus seinen Erscheinungen zu verschiedenen Zeiten zusammen gesetzt. 16. Fig.

§. 61. Die größte Zierde unsers Himmels ist unstreitig jener schöne Stern, der bald als Lucifer die Ankunft des Morgens verkündigt, bald als Hesperus dem Abend besonders im Sommer einen unbeschreiblichen Reitz gibt (*). Venus war es ohne Zweifel, die durch den höhern Glanz womit sie alle Sterne verdunkelt, und durch ihre schnelle Bewegung, die ältsten Astronomen zuerst überzeugte, daß der Him- der Venus.

*) Homer nennt ihn κάλλιστος, den schönsten.

mel außer den Fixsternen noch andre Weltkörper enthält, die man wegen ihrer herum irrenden Bewegung Planeten nannte. Ihr blendend weißes Licht, welches in seiner grösten Stärke vom Vollmonde nur 3000 mal übertroffen wird, ist so stark, daß Venus fast immer am Tage mit bloßen Augen gesehen werden kann, und sich in der Dämmerung viel besser beobachten läst als in der heitersten Nacht, daß sie in dunkeln Nächten einen sehr merklichen Schatten wirft, und eine Erleuchtung gibt, wie eine Kerze in der Entfernung von 250 Fuß. — Venus zeigt uns eben die Phasen wie der Mond, vom feinsten Silberfaden bis zur vollen runden Scheibe, und stralt wegen ihrer größern Nähe gerade dann am schönsten, wenn nur ihr vierter Theil erleuchtet ist. Um die Zeit, wenn ihre halbe Scheibe erleuchtet ist, wie der Mond im ersten oder letzten Viertel, hat H. Schröter bemerkt, daß ihr Licht vom hellen Rande bis zum dunkeln Theil schwächer wird, und sich nahe bey der Lichtgränze selbst in eine matte blaus-
17. Fig. gräuliche Farbe verliert (17. Fig.). Dies beweist offenbar, daß Venus eine der unsrigen ähnliche Atmosphäre hat. Da nämlich die Lichtgränze der Horizont der von der Sonne erleuchteten Halbkugel ist, so fallen nahe an dieser Gränze die Sonnenstralen horizontal auf, müssen folglich eine lange Strecke der Atmosphäre durchlaufen, wodurch sie eben so geschwächt werden, als wenn uns die Sonne oder der Mond im Horizont erscheint. Es ist wahr, daß die Stärke der Erleuchtung an und für sich, nach der größern Schiefe der auffallenden Stralen, auch ohne Dunstkreis abnimt; allein dies ist kaum merklich, wie wir theils auf der Erde sehn, wo die Abnahme des Sonnenlichts sich nicht ehr als bey ihrem Untergange bemerken läst, theils am Monde, wo die Lichtgränze scharf abgeschnitten ist. Ein andrer Beweis für diese Atmosphäre ist das von H. Schröter entdeckte aschfarbige bläulichte Licht, das sich besonders von den Hörnern in die dunkle oder Nachtseite der ♀ weit über die Lichtgränze hinaus

erstreckt, sich vorzüglich einige Tage vor und nach der untern Konjunktion zeigt, und dem aschfarbigen Licht in der Nachtseite des Monds ganz ähnlich ist. Es ist offenbar, daß dies nichts anders seyn kann, als die Morgen- und Abend-Dämmerung auf diesem Planeten. Aus vielen mühsamen Beobachtungen und Rechnungen, die H. Schröter über die Größe dieser Dämmerung angestellt hat, folgt, daß die Horizontal-Refraktion auf der ♀ 31′ beträgt, daß also die Dichtigkeit ihrer Atmosphäre der unsrigen ganz gleich ist. Doch gehn in derselben nicht so starke Revolutionen vor, wie auf der Erde, und noch weniger, als auf dem ♃, ♄, und der Sonne: denn noch nie hat man auf der ♀ so deutliche Flecken bemerkt, wie auf dem weit entfernteren ♃. Dies scheint zugleich zu beweisen, daß ♀ nicht so ungeheure Meere, und überhaupt nicht die große Abwechslung von Land und Wasser hat, wie unsre Erde, sondern mehr dem Monde ähnlich ist. — Dagegen gibt es auf der ♀, besonders auf ihrer südlichen Hälfte, Berge die eine Höhe von fast 6 Meilen haben, also 7 mal höher sind als die höchsten Berge der Erde. — Venus scheint im ganzen der Erde noch ähnlicher zu seyn als ♂. Sie ist der Erde an Größe fast genau gleich, hat dieselbe Rotations-Periode oder Abwechslung von Tag und Nacht, dieselbe Höhe und Dichtigkeit der Atmosphäre, dieselbe Dämmerung, die nämliche Abwechslung von Bergen und Thälern. Auch ihr Jahr von $7\frac{1}{2}$ Monaten ist vom unsrigen nicht sehr verschieden; allein der Unterschied des Klima's und der Jahrszeiten ist viel größer, wenn sie wirklich eine Schiefe der Ekliptik von fast 72° hat (§. 49.), welches aber noch nicht ganz ausgemacht ist. — Vielleicht hat ♀ auch gleich der Erde einen Mond, dessen Daseyn aber noch sehr zweifelhaft ist.

§. 62. Die Schwierigkeiten, den Merkur zu beobachten, theils wegen seiner geringen Größe und beträchtlichen Entfernung, theils weil er sich nur mit der Sonne zugleich, oder doch nur in der Dämmerung und in den Dünsten des Hori- und des Merkurs

zonts zeigt, sind Ursache, daß wir die topographischen Kenntnisse von diesem Planeten allein den in den neuesten Zeiten zu so hoher Vollkommenheit gebrachten Teleskopen, und zwar ausschließlich den Beobachtungen H. Schröters verdanken. Merkur hat ein weißliches Licht, und wegen der Nachbarschaft der Sonne, deren Stralen er so zu sagen aus der ersten Hand empfängt, einen so starken Glanz, daß man das Fernrohr blenden muß, um ihn deutlich zu sehn. Er zeigt sich ganz so wie Venus: dieselbe Abnahme des Lichts nach der Lichtgränze hin, die seine Atmosphäre beweist; dieselbe periodische Abrundung und Zuspitzung der Hörner seiner Phasen, die aus seinen hohen Bergen und seiner Rotation entsteht; derselbe Mangel an beträchtlichen Flecken und Streifen, woraus die große Ruhe seiner Atmosphäre folgt, ꝛc. Auch hat ☿, gleich der Venus und dem Monde, nicht bloß einzelne Berge, sondern ganze Gebirgsketten; welches daraus erhellt, daß nicht einzelne Stellen, sondern die ganze Lichtgränze periodische Aenderungen leidet, und in 24 Stunden mehr und weniger konkav wird. Die Berge dieses Planeten erstrecken sich in der südlichen Halbkugel bis auf eine Höhe von $2\frac{1}{2}$ Meilen, in der nordlichen nur auf $\frac{1}{4}$ Meile. Seine höchsten Berge sind also dreymal so hoch als die unsrer Erde, und im Verhältniß der Größe beyder Planeten achtmal so hoch. Ueberhaupt hat ☿, im Verhältniß seiner Größe, unter allen Planeten die höchsten Berge, da sie $\frac{1}{127}$ seines Halbmessers betragen: auf der Venus und dem Monde ist das Verhältniß beynahe das nämliche. Die Jahrszeiten auf diesem Planeten dauern nur 3 Wochen, wodurch, so wie durch die Schatten der hohen Berge, die wegen der großen Nähe der Sonne vielleicht starke Hitze gemildert werden kann.

Selenotopographie.

§. 63. Wenn die nähere Kenntniß selbst des fernsten Planeten unsers Sonnen-Systems nicht ohne Interesse für uns ist, wenn vielleicht die Leser dieses Werks vielmehr bedauert haben, daß wir so wenig von ihnen wissen, als daß

ihnen dies wenige Langeweile verursacht hätte; wie viel wichtiger muß uns dann eine genaue Untersuchung desjenigen Weltkörpers seyn, der durch das engste Band an uns gekettet ist, dem der Schöpfer dieselbe Stelle im Sonnensystem, dieselbe Laufbahn um die Sonne angewiesen hat, wie unsrer Erde, dem die Wissenschaften und Künste so viel verdanken, der auf so viele Gewerbe des menschlichen Lebens und auf die ganze Natur unsers Erdbodens einen so mächtigen Einfluß hat, der endlich unser so naher Nachbar ist, daß wir an ihm am sichersten erfahren können, wie es in der übrigen Welt aussieht. Wenn bey der genauen Verbindung die zwischen der Erde und dem Monde statt findet, die Vermuthung natürlich ist, daß beyde Weltkörper sich in allen Stücken ähnlich sind, so wird die große Verschiedenheit die sich bey näherer Untersuchung findet, ein lehrreicher Wink von der unerschöpflichen Mannigfaltigkeit seyn, die die Natur in allen ihren Werken zeigt, selbst bey solchen die ganz die nämliche Lage gegen den Zentralkörper des Systems haben.

Die ersten Mond-Karten von Galilei und Scheiner wären noch sehr unvollkommen. Schon weit besser war die Hevelsche von 1647, wenigstens ward sie von der 4 Jahre nachher von Riccioli heraus gegebenen nicht übertroffen. Die erste gute Karte lieferte Cassini 1680; doch sind in ihr die Mondflecken noch bloß nach dem Augenmaße, und nicht nach astronomischen Bestimmungen ihrer Länge und Breite eingetragen. Dies geschah zuerst von Tob. Mayer, dessen Monds-Karte 1775 erschien. Allein dies waren nur noch General-Karten: die ersten Spezial-Karten, oder topographische Beschreibungen und Zeichnungen einzelner Gegenstände und Flecken des Monds, nach den vollkommensten Instrumenten und stärksten Vergrößrungen, hat H. Schröter in seinen selenotopographischen Fragmenten (2 B. in 4. 1791 und 1802.) geliefert. Dieses Meisterwerk enthält an 7000 verschiedene einzelne Gegenstände, die der Verfasser mit uners-

müdeter Sorgfalt beobachtet hat, da man bis dahin nur 244 unterschieden und benannt hatte. Es gibt eine doppelte Benennung der Mondsflecken. Hevel benannte sie nach der ältern Geographie unsers Erdbodens (z. B. Malta, Aetna, Byzanz), Riccioli, Cassini, ꝛc. nach der mathematischen Literatur (z. B. Archimed, Tycho, Kepler,), größre Flecken auch nach der Fantasie (z. B. Meer der Ruhe, des Regens, der Fruchtbarkeit). Die letztre Benennung ist jetzt allgemein von den Astronomen angenommen.

Bestimmung der Höhe der Berge.

§. 64. Die genaue Angabe der Höhe der Berge auf der Venus, dem Merkur, und besonders dem Monde, veranlaßt natürlich die Frage, wie es möglich sey, diese Höhen zu messen. Es gibt dazu drey Methoden, wovon die letzte die gröste Genauigkeit gewährt.

1) Wenn der Fuß eines Berges sich genau im hellen Mond-Rande befindet, so ragt seine Spitze über demselben hervor, und eine Messung des Verhältnisses dieser Unebenheit des Randes zum bekannten Durchmesser des Monds, gibt die Höhe des Berges. Auf diese Art zeigen sich die Berge sehr deutlich bey Sonnen-Finsternissen, wo der schwarze Rand des Mondes in der hellen Sonnenscheibe ausgezackt erscheint.

2) Den Einwohnern gebirgigter Gegenden ist es bekannt, daß lange vor Aufgange der Sonne oder nach ihrem Untergange, die Gipfel der Berge von ihren Stralen verguldet werden, wenn die umliegende Gegend von tiefer Dämmerung bedeckt ist. Der letzte Strahl der untergehenden Sonne berührt die Erdfläche bloß, entfernt sich jenseits des Berührungspunkts, dem eben die Sonne unterging, immer mehr von der Erdkugel, und kann nur Gegenstände treffen, die über der Oberfläche der Erde erhaben sind, und natürlich desto höher seyn müssen, je weiter sie hinter jenem Berührungspunkt liegen. Eben so sieht man in der Nachtseite des ab oder zunehmenden Mondes unzählige helle Punkte in beträchtlicher Entfernung von der Lichtgränze; und man begreift leicht, wie

sich aus dieser Entfernung die Höhe jener von den Sonnenstralen getroffenen Gipfel der Mondberge berechnen läst.

3) Jeder Berg wirft nach der von der Sonne abgewandten Seite einen Schatten, der am Mittage am kürzesten ist, und sich desto mehr verlängert, je mehr sich die Sonne dem Horizonte des Berges nähert. Diese Schatten zeigen sich an den Mondbergen im hellen Theil sehr deutlich; sie sind am längsten kurz vor oder nach dem Neumonde, da die Sonnenstralen sehr schief auffallen; sie verkürzen sich, je mehr der Mond zunimt, und verschwinden endlich ganz im Vollmonde, dem Mittage der Mitte der uns zugekehrten Hälfte des Mondes. Eben dies findet bey den tiefen Hölen statt, an denen der Mond so reich ist, und deren erhabene Ränder oder Wälle einen schwarzen Schatten in den Abgrund werfen. So wie man auf der Erde, aus der Tageszeit oder der Höhe der Sonne und der Länge des Schattens eines Thurms, seine Höhe findet, so wie die Schiffer die Höhe des Pik von Teneriffa durch den Schatten bestimmen, den er auf das Meer wirft, so läst sich die Höhe der Mondberge oder die Tiefe seiner Versenkungen, aus der Länge der Schatten und der Entfernung der Berge von der Lichtgränze, oder der Höhe der Sonne über ihrem Horizont berechnen.

§. 65. Die Erhabenheiten des Monds sind besonders von vier verschiedenen Arten, wovon wir das Urbild auf unsrer Erde finden: flache weit ausgestreckte, unsern Flötzgebirgen ähnliche Berg-Adern, ringförmige mit Wällen umgebene Krater-Berge, solide oder wahre Berge, die theils einzeln da stehn, theils in großen Ketten fortgehende Gebirge bilden, wozu man noch die eigentlichen Vulkane oder feuerspeiende Berge rechnen kann. Die einzelnen Berge sind von sehr verschiedener Höhe von 60 bis über 4000 Toisen, also fast um $\frac{1}{8}$ höher als die höchsten Berge der Erde, und im Verhältniß der Durchmesser beyder Weltkörper 5 mal so hoch. — Unter den Bergketten gibt es welche, die sich auf 90 Meilen er- Mond, Berge.

strecken. — Am häufigsten aber sind die Wall- oder Ring-Gebirge, mit denen die ganze Oberfläche des Monds so sehr bedeckt ist, daß sie ihm ein wellenförmiges oder marmorirtes Ansehn geben. Dies sind kreisrunde, gleich einem Wall aufgeworfene Berge, die zuweilen mitten in einer Ebne stehn, öfter aber in einer tiefen Einsenkung wahre Krater einschließen. Diese Kessel oder Krater haben im Durchschnitt bis 200 Werst; die Wälle von denen sie umgeben werden, sind in ihrem ganzen Umfange von gleicher Höhe, und allgemein weit niedriger als die übrigen Berge; sie haben eine sehr breite Basis, und nach außen einen sehr sanften Abhang. — Die eigentlichen Krater sind nicht, wie auf der Erde, von Bergen eingeschlossene Thäler, sondern wahre Versenkungen unter der Oberfläche des Monds, Schlünde bis zur Tiefe von 3000 Toisen; und die vom kleinsten Durchmesser sind gewöhnlich die tiefsten. H. Schröter hat mit unermüdeter Sorgfalt die Basis, so wie die Höhe und Tiefe der Wallgebirge und der eingeschlossenen Krater, genau durch ihren Schatten gemessen, nach diesen Dimensionen hohle Modelle verfertigt, und dann gefunden, daß das Modell des Kraters immer so viel Sand faßte, als das des umgebenden Walls. Diese genaue Uebereinstimmung wäre unbegreiflich, wenn die Krater durch Einsenkung entstanden wären, weil sie in diesem Falle mit dem umgebenden Berge in gar keiner Verbindung ständen, folglich 10 oder 20 mal größer oder kleiner seyn könnten. Es läst sich nicht anders erklären, als daß diese ungeheuren Wälle aus dem Krater aufgeworfen, und mit ihm selbst zugleich, durch eine von den Eingeweiden des Monds nach außen wirkende Kraft oder Eruption entstanden sind. — Ueberhaupt bemerkt man in den Polar-Gegenden des Monds, besonders aber am Süd-Pol, die meisten und höchsten Berge: daher sich das südliche Horn des ab oder zunehmenden Monds gewöhnlich weiter in die Nachtseite erstreckt, als das nordliche. Diese Analogie des Monds mit der Venus, dem Merkur, und unsrer Erde, wo

die südlichen Hemisphären auch weit gebirgigter sind als die nordlichen, ist desto merkwürdiger, da sich schwerlich ein Grund davon errathen läst.

Ebnen.

§. 66. Obgleich der gröste Theil des Monds gebirgigt ist, so gibt es doch auch hin und wider Flächen von groſser Ausdehnung, die sich als solche durch ihre dunkle Farbe von den erhabenen Stellen des Monds unterscheiden, und daher den unverdienten Namen der Meere erhalten haben, wiewol auch sie wider von minder hohen Gebirgen durchschnitten werden, die man als Inseln dieser Meere ansah. Das *Mare crisium* ist nichts anders, als eine von Gebirgen eingeschlossene ganz ebene Fläche von wenigstens 2400 Qvadrat-Meilen, und zeigt sich fast wie ein Teller mit seinem Rande. Aus diesem Randgebirge laufen viele Bergketten in die eingeschlossene Ebne, theils wie hohe Vorgebirge, theils wie lange Flötzgebirge. In dieser einem ungeheuren Thal ähnlichen Ebne gibt es auch viele Vertiefungen, worunter eine (Picard) 1300 Toisen tief ist. — Eine ähnliche Ebne, und gleich jener mit einem gleichförmigen aschfarbigen Licht gefärbt, ist das *Mare serenitatis*. Sie enthält wenigstens 7000 Qvadrat-Meilen, ist etwas vertieft, und nach allen Richtungen von Bergrücken durchschnitten, die sich trennen und wider vereinigen, welches immer durch Einsenkungen oder einzelne hohe Berge geschieht. Diese Bergketten, wovon einige an 90 Meilen lang, und an vielen Stellen nur 1 Meile breit sind, werden durch kleinere Zweige verbunden, und bilden auf diese Art ein zusammen hängendes System, gleich dem Gewebe der Adern und Gefäße der Thiere und Pflanzen.

und Vertiefungen.

§. 67. Diese Thal-Ebnen scheinen gar nicht, oder doch nur sehr wenig niedriger zu liegen, als der Fuß der Berge, oder das was wir bey uns die Meeresfläche nennen. Allein es gibt auch eine Menge wirklicher Vertiefungen, die unter der eigentlichen Oberfläche des Monds eingesenkt sind. H. Schröter hat mehrere derselben gemessen, und darunter be-

sonders eine gefunden (Bernoulli), die nur 3 Meilen im Durchmesser hat, und so tief, wie der Chimboraßo hoch ist, nämlich 3092 Toisen. Aehnliche Thäler von gleicher Tiefe, zeigen sich häufig im hellen Mond-Rande als Einschnitte. — Gewöhnlich sind diese Vertiefungen nicht von Wallbergen umgeben, wie die Krater; doch gibt es auch unter diesen viele, die in ihren Becken tiefe und erhabene Stellen enthalten, wovon erstre wahrscheinlich durch Einsturz, letztre durch eine Art von Ebullition entstanden sind. — Man bemerkt auch nicht sehr tiefe Rillen oder Kanäle, die kaum $\frac{1}{2}$ Meile breit, aber viele Meilen lang, die also ganz unsern Flüssen ähnlich sind, nur daß es ihnen, wie wir gleich sehn werden, an Wasser fehlt.

Ob es Wasser auf dem Monde gebe?

§. 68. Wasser und Land unterscheiden sich in großer Entfernung gewöhnlich durch die dunkle oder helle Farbe, und durch die ebnere und unebnere Oberfläche, weil jenes weniger Lichtstralen reflektirt als die festen Körper, und von selbst eine horizontale Lage annimt. Allein so wie die afrikanischen Sandwüsten nicht unebener als das Meer sind, so ist die Farbe der schwarzen Tannenwälder nicht heller. Man würde also nicht mit Sicherheit schließen können, daß die dunkeln und glatten Mondsflecken Wasser enthalten; man kann aber zuverlässig das Gegentheil schließen, wenn ihnen eins dieser beyden Kennzeichen fehlt: und so verhält es sich wirklich mit dem Monde. Noch hat man keinen Fleck von einer beträchtlichen Größe entdeckt, der nicht voll Unebenheiten wäre; und selbst die Farbe der so genannten Meere ist nicht ganz gleichförmig und schwarz, sondern hat ein aschfarbiges Licht, das sich von der schwarzen Farbe der Schatten der Berge sehr merklich unterscheidet, und worin Farben und Schatten deutlich spielen (§. 66.). Sie sind von Bergen, Thälern, und mit Wällen umgebenen Schlünden durchschnitten, uud ehr unsern weit ausgedehnten Haiden oder Wäldern ähnlich, als unsern Meeren. Eben so wenig hat man bisher große Flüsse im Monde

entdeckt, und die oben (§. 67.) erwähnten Kanäle ſind, wie man deutlich ſieht, nicht mit der dichten Flüſſigkeit angefüllt, die wir Waſſer nennen, ſondern entweder ganz leer, oder mit einer weit dünnern Materie bedeckt. Die Krater, die die natürlichen Ciſternen wären, ſind ſicher ohne Waſſer; und von den Bergketten, die das Waſſer über unſre Erde vertheilen, gehn im Monde nirgends Ströme aus. Es iſt freylich nicht unwahrſcheinlich, daß der Mond Landſeen und Bäche habe, die zu klein ſind, um von uns bemerkt zu werden; aber vermuthlich enthalten ſie nicht unſer dichtes Waſſer, ſondern vielleicht eine analoge Flüſſigkeit, von der es ſehr wahrſcheinlich iſt, daß ſie ſich ſo zu unſerm Waſſer verhält, wie die Atmoſphäre im Monde zur unſrigen. Vielleicht iſt dieſes Element nicht dichter als unſre untern Luftſchichten, und thut demohnerachtet den anders organiſirten Seleniten dieſelben Dienſte, wie uns das Waſſer.

Atmoſphäre des Monds.

§. 69. Mit mehrerer Sicherheit kann man behaupten, daß der Mond von einer Atmoſphäre umgeben iſt, die aber weit feiner als die unſrige iſt. Dies wird durch viele Gründe außer Zweifel geſetzt. — Es gehn auf dem Monde periodiſche Aendrungen der Geſtalt, des Lichts, und der Farbe einzelner Gegenſtände ſo plötzlich vor, daß ſie nichts anders als atmoſphäriſche Wirkungen ſeyn können. Berge erſcheinen bald länglicht bald rund, bald mit bald ohne Krater. Sie ſind oft mit einem Schatten umgeben, der nicht allein ſehr wandelbar iſt, ſondern ſogar an einer andern als der der Sonne entgegengeſetzten Seite liegt, und wahrſcheinlich eine Wirkung dicker Dünſte iſt. Die großen Ebnen (wie das Mare crisium) ändern ihre graue Farbe zuweilen in eine hellere, was ſich ſchwerlich anders erklären läſt, als durch Verdichtung und Aufklärung der Monds-Atmoſphäre. — Der dichtere oder untere Theil der Monds-Atmoſphäre hat ſogar die Kraft, das Licht zu ſchwächen: denn die Berge haben ein weit ſchwächeres Licht, wenn ſie nahe an der Lichtgränze, als wenn ſie weiter

in der Tages-Seite liegen. Im erstern Falle müssen nämlich die Stralen der auf oder untergehenden Sonne durch einen längeren Strich der Atmosphäre gehn, wodurch sie eben so geschwacht werden, wie bey uns Sonne und Mond im Horizont ein matteres Licht haben. Dieser Licht-Verlust ist aber weit geringer, als auf der Erde und Venus, woraus die geringere Dichtigkeit der Monds-Atmosphäre folgt. — Auch ihre stralenbrechende Kraft zeigt sich bey den Sonnen-Finsternissen durch die so genannte Inflexion des Lichts. Die Sonnenstralen gehn nämlich längs dem Mondrande nicht in gerader, sondern in einer nach dem Monde hin gekrümmten Linie fort, und diese Krümmung ist, wie man leicht sieht, nichts anders als die doppelte Horizontal-Refraktion auf dem Monde, die nach diesen Beobachtungen nur $4\frac{1}{2}''$ beträgt, also ohne Vergleich geringer ist als auf der Erde. — Daß der dichtere Theil der Monds-Atmosphäre auch die Kraft hat, das Licht zu reflektiren, beweist die Dämmerung auf dem Monde. Kurz vor und nach dem Neumonde erstreckt sich über die Hörnerspitzen hinaus in die Nachtseite des Monds ein schwacher weißlicher Schimmer, der spitz zu läuft, nach der Spitze hin schwächer wird, und sich endlich verliert, oder vielmehr mit dem aschfarbigen Lichte, welches die Erde auf die Nachtseite des Monds reflektirt (Th. §. 165.), vermischt. Dies kann nichts anders seyn, als das von der Atmosphäre des Monds auf seine Nachtseite reflektirte Sonnenlicht, also eine wahre Dämmerung, die sich hier, wie es auf der Erde so oft der Fall ist, auf einer Seite mit dem Sonnenlichte, auf der andern mit dem Mondschein vermischt. Aus der Länge dieses sanften Lichtstreifens läst sich berechnen, daß die Dämmerung (so fern sie nämlich noch stark genug ist, um vom Erdlicht unterschieden zu werden) sich auf 2 bis 3 Grad, d. i. 10 bis 12 Meilen erstreckt. Es folgt hieraus, daß die senkrechte Höhe desjenigen Theils der Monds-Atmosphäre, der noch dicht genug ist, Sonnenlicht zu reflektiren, fast 8000 Fuß,

d. i. den 670ten Theil des Mond-Halbmessers, also etwa den 29ten Theil von der Höhe der dämmernden Erd-Atmosphäre (10 Meilen) beträgt. Allein die feineren Theile der Monds-Atmosphäre, die kein Licht mehr zurück werfen, also keine Dämmerung verursachen, erstrecken sich ohne Zweifel viel höher, und übersteigen wahrscheinlich die Spitzen der höchsten Mondberge. Diese dämmernde Mond-Atmosphäre zeigt sich deutlich bey ringförmigen Sonnenfinsternissen, wo der äußerste Mondrand in einem dunkelgrauen Lichte erscheint, welches vom Rande nach der Mitte immer schwächer wird. — Diese Atmosphäre muß freylich bey Stern-Bedeckungen vom Monde eine allmählige Abnahme des Lichts der Sterne verursachen, die aber wegen der geringen Höhe von 8000 Fuß höchstens nur $\frac{3}{4}$ Sekunden dauern kann. Da überdem der Mond mit Gebirgen besäet ist, so wird irgend ein Berg, der sich eben beym Eintritspunkt des Sterns im Mondrande befindet, und über der dichtern Atmosphäre erhebt, diese Dauer noch mehr verkürzen. Man sieht also, daß dies unsern Beobachtungen ganz entgehen muß; und wenn zuweilen bey Immersionen an den Sternen eine Licht-Abnahme von mehreren Sekunden bemerkt ist, so rührte dies vermuthlich daher, daß der Stern längs einem Berge eintrat, der ihn nach und nach bedeckte.

Revolutionen auf dem Monde.

§. 70. Wenn der Mond vernünftige Bewohner hat, deren Leidenschaften den menschlichen ähnlich sind, so kann man nicht zweifeln, daß auch dieser Weltkörper ein Schauplatz politischer Revolutionen ist, durch welche das Menschengeschlecht sich selbst aufreibt, von denen aber hier die Rede nicht ist. Außer diesen tragischen Szenen gibt es andre, die gleichfalls das Werk von Menschenhänden sind, die aber, wie z. B. Urbarmachung, Anlegung von Kanälen, Erbauung von Dörfen, ꝛc. eine wohlthätigere Wirkung haben, deren Andenken sich daher erhalten wird, wenn jene Gräuel längst vergessen sind: von diesen zeigen sich vielleicht Spuren auf dem Monde, aber auch von ihnen ist hier nicht die Rede. Wir betrachten

Hier nur jene großen Revolutionen, die die gütige Natur selbst bewirkt, durch welche sie jedem Weltkörper die höchste Bildung gibt, der er fähig ist, ihn durch mancherley Epochen durch führt, und endlich zu einem blühenden Wohnort empfindender und vernünftiger Geschöpfe macht, die der Natur den einzigen Dank den sie erwartet, dadurch versagen, daß sie sich selbst das Leben verbittern. Man kann diese physischen Revolutionen auf dem Monde in drey Gattungen theilen, nämlich eine große Haupt-Revolution durch welche dieser Weltkörper in seinen jetzigen Zustand überging, später erfolgte die der Mond nur hier und da erlitt, und solche die noch jetzt unter unsern Augen vorgehen. — Daß es auf dem Monde alte Urgebirge, und andre neuern Ursprungs gibt, muß jedem aufmerksamen Beobachter auffallen, besonders bey der Betrachtung der so sehr von einander verschiedenen größern und kleinern Krater. Die ersten sind wahrscheinlich lange vor den letztern, nicht etwa wie unser Aetna nach und nach durch widerholte, sondern durch eine einzige vulkanische Eruption entstanden, wie man schon aus der genauen Uebereinstimmung zwischen der Masse der Schlünde und ihrer Wallgebirge (§. 65.) schließen muß. Wann diese große Revolution, die dem Monde wahrscheinlich mit einem Mal seine jetzige Bildung gab, vorgegangen sey, wird niemand fragen, der daran denkt, daß wir das Alter der Revolutionen unsers Erdbodens nicht einmal kennen. Eben so wenig darf man fragen, durch was für Mittel die Natur im Innern des Mondes den Keim zu jener allgemeinen und wahrscheinlich wohlthätigen Revolution ausbrütete. Genug, eine innere Gährung, bey der ohne Zweifel Feuer und Gase eine große Rolle spielten, drängte mit starker Elastizität nach außen: die schwächern Theile der äußern Rinde des Monds zersprangen (wodurch die Krater mit ihren Wällen entstanden), indeß die festern Theile nur anschwollen und sich zu Bergen erhoben, die man als unvollkommene oder nicht gelungene Eruptionen ansehn muß. Aus diesem gemeinschaftlichen Ur-

sprunge erklärt es sich, daß die Berg-Adern gewöhnlich auf Krater-Gruppen stoßen, und daß in Gegenden die an hohen Bergrücken reich sind, sich keine Krater finden, und umgekehrt, weil dort die Monds-Rinde zu fest, hier aber so beschaffen war, daß sie weniger Widerstand leistete. — Außer diesen größern Ur-Kratern gibt es eine Menge kleinerer, die gewöhnlich in jene eingreifen, und sie zum Theil zerstört haben, so wie sich am Aetna viele kleine Vulkane angehängt haben: diese sind weit tiefer und von höheren Wällen umgeben, als die größeren. Man kann kaum zweifeln, daß diese kleinern und tiefern Krater das Werk neuer zufälliger Eruptionen sind, von denen sich auch viele andre Spuren finden. Manche Krater sind nur von halben Kreisen umgeben, welche Ruinen ehemaliger vollständiger Ringgebirge zu seyn scheinen. In ihrer Nähe sind gewöhnlich kleinre Krater, die in jene eingreifen, und ganz rund, also später entstanden sind, und jene Zerstörung angerichtet haben. — In der Mitte unzähliger Krater erhebt sich ein Berg, gleich einem Nabel oder dem Buckel eines Schildes, zuweilen von der Höhe von 1200 Toisen. Hier, scheint es, machte die Natur neue Versuche zu Eruptionen, ohne die gehörige Kraft sie zu vollführen, oder mehr als eine Anschwellung hervor zu bringen. Die kleinen Krater die an solchen Zentral-Bergen häufig anhängen, sind einzelne schwächere Stellen der Monds-Rinde, die der innern Gährung einen Ausweg verstatteten. — Es gibt auch Krater die unsern Vulkanen ganz ähnlich sind. Hieher gehören besonders solche, deren umgebende Wälle weit niedriger als gewöhnlich sind, so daß sie kaum die Hälfte der Masse des Kraters enthalten, und von denen nach allen Richtungen Licht-Adern von unbedeutender Höhe oder Dicke aussprießen. Es scheint, die ausgeworfene Masse geriet, wie bey unsern Vulkanen, in Fluß, lief nach allen Seiten vom Wall herab, und verhärtete sich zur glänzenden Lava, die uns jene Licht-Adern zeigen. Die Einsenkungen oder Schlünde, von denen oben

geredet ist (§. 67.), gehören wahrscheinlich auch zu diesen neuen Natur-Wirkungen. — Es scheint sogar ausgemacht, daß die Natur auf dem Monde noch jetzt nicht ruhig ist, sondern Revolutionen vornimt, die etwas bedeutender sind, als unsre Erdbeben und vulkanische Eruptionen. Schon die Vergleichung der Cassinischen Karte mit den jetzigen beweist, daß manche Stellen des Monds seit 100 Jahren wichtige Veränderungen erlitten haben. Es scheint, daß es viele Vulkane auf dem Monde gibt, die noch jetzt von Zeit zu Zeit sich entzünden, oder wenigstens ein phosphorisches Licht ausströmen lassen. Schon in frühern Zeiten hatte man oft bey totalen Finsternissen, so wie in der Nachtseite des Monds, glänzende Flecken gleich Blitzen bemerkt. Noch jetzt zeigen sich oft im dunkeln Theile des Monds solche leuchtende Stellen, deren starkes Licht sehr schnell abnimt, und endlich ganz verschwindet, da man dann an derselben Stelle, nachher wenn sie von der Sonne erleuchtet wird, wirkliche Krater entdeckt, die auch dann noch vielen Lichtveränderungen unterworfen sind. Vor allen zeichnet sich der unter dem Namen Aristarch bekannte Fleck, selbst im Vollmonde, durch sein äußerst helles Licht aus, und zeigt sich auch in der Nachtseite, durch lichtstarke Teleskope, beständig als ein Lichtfleck wie ein kleiner Stern. Sein nie unterbrochener Glanz scheint nicht so wol Wirkung vulkanischen Feuers, als des von der Erde reflektirten Lichts zu seyn. Welche eigenthümliche Beschaffenheit müssen diese Demant-Felsen haben, daß sie durch das bloße Erdlicht uns so hell wie Sterne scheinen, wenn sich die übrige Nachtseite nur in einer schwachen aschfarbigen Dämmerung zeigt! Die Zunahme des Lichts, die man zuweilen an diesem Fleck bemerkt, ist wahrscheinlich Folge vulkanischer Eruptionen, verbunden mit Aendrungen in der Atmosphäre des Mondes. — Auch kraterartige Versenkungen oder Einstürze von 1 bis 2 Meilen im Durchmesser, sieht man noch jetzt zuweilen auf den großen Ebnen entstehn.

§. 71. Beym ersten Blick den das bewafnete Auge auf den Mond wirft, glaubt man in ihm einen Körper zu sehn, der von Feuer und vulkanischen Eruptionen durchwühlt, ein Schauplatz der schrecklichsten Revolutionen und Verwüstungen war, und vielleicht noch ist; und man ist geneigt, ihn für ganz unbewohnbar zu halten; aber sorgfältigere Beobachtungen mit stärkeren Fernröhren überzeugen uns von unserm Irrthum. Es ist unterhaltend, zu bemerken, wie sich unsre Ansicht der Dinge mit jeder neuen Vollkommenheit der Fernröhre geändert hat. Als man den Mond zuerst durch Gläser betrachtete, glaubte man auf ihm die ganze Natur unsers Erdbodens wieder zu finden: man sah Land und Wasser, Meere und Inseln, Berge und Thäler, trockene und sumpfigte Gegenden, ꝛc. Als man ihn aber durch vollkommenere Fernröhre beobachtete, und gewahr ward, daß der Mond aus lauter harten Theilen besteht, die sich seit Jahrhunderten nicht geändert zu haben scheinen, daß man überhaupt nie die geringste Aendrung oder Bewegung auf ihm bemerkt, daß wir in den dunkeln Flecken nicht die Oberfläche des Wassers, sondern den Boden der so genannten Meere sehen, daß seine ganze Oberfläche mit über einander gethürmten ungeheuren Felsen oder Bergen, grösstentheils vulkanischen Ursprungs, bedeckt ist; und daß sich weder Luft noch Wolken noch Wasser zeigt; so brach man den Stab über diesem getreuen Gefährten unsrer Wandrungen um die Sonne: man erklärte ihn für ein nacktes, unfruchtbares und unbewohnbares Felsen-Gerippe, auf dem weder Leben noch Vegetation noch Bewegung, auf dem nur Ruhe und Stille des Grabes herrsche, kurz, für einen Weltkörper, der sich entweder selbst überlebt habe, oder einem schönern Leben entgegen schlummere. Der letzten Vollkommenheit der Teleskope, und den unermüdeten Beobachtungen H. Schröters, verdanken wir endlich eine richtige Kenntniß von diesem Weltkörper, der, wie wir gesehn haben, in der That unsrer Erde im ganzen sehr ähnlich ist, aber im einzelnen auch wider sehr viele Ei-

Vergleichung des Monds und der Erde.

genthümlichkeiten hat, die ihm vielleicht keine geringeren Natur-Schönheiten geben, und ihn gar nicht zum Wohnort vegetirender, lebender, empfindender, vernünftiger, und glücklicher Geschöpfe untauglich machen, wiewol seine Pflanzen und Thiere von den unsrigen sehr verschieden seyn mögen. — Man sieht auf dem Monde 40 Meilen lange Thäler, von felsigten Gebirgen eingeschlossen, die unsern schönsten Landschaften ähnlich sind. Seine Gebirgs-Ketten stehn, gleich denen auf der Erde, durch unzählige Aeste und Adern in Verbindung, und laufen gewöhnlich aus einem Berge als dem Mittelpunkt gleich Stralen nach allen Richtungen aus, wie man am deutlichsten am Tycho sehn kann; sie unterscheiden sich aber dadurch, daß die Plateaux aus denen die Gebirge auslaufen, nicht wie auf der Erde die höchsten Punkte, sondern oft sehr niedrige Berge sind. Ein zweyter Unterschied ist die unzählige Menge von Kratern oder Vulkanen, die sich vielleicht, so wie die fünfmal größere Höhe der Berge, daraus erklären läst, daß die Schwere auf dem Monde, wegen seiner kleineren Masse, fünfmal geringer ist als auf der Erde. Eine natürliche Folge hievon ist, daß dieselben Natur-Kräfte, dieselben innern Gährungen, die auf der Erde die Schale nicht zersprengen, sondern nur Erschüttrungen oder Erdbeben hervor bringen können, auf dem Monde Berge, Krater und Einstürzungen bewirken. — Der wichtigste Unterschied aber besteht im Mangel an Wasser und dichter Luft. Die Atmosphäre des Monds ist ohne Vergleich feiner, trockner und reiner, als die unsrige: der Mond ist also, wie es wol ausgemacht scheint, ohne Meere und große Flüsse, und ohne eine für die Thiere der Erde respirable Luft. Allein dies beweist nur, daß die Natur nicht weise gehandelt haben würde, wenn sie uns dahin gesetzt hätte; demohnerachtet kann der Mond sehr wohl von anders organisirten Geschöpfen bewohnt seyn, so wie wahrscheinlich jeder Planet seine eigenthümliche Natur hat. Die Spitzen der höchsten Mond-Berge liegen freylich weit

über der eigentlichen dichten Atmosphäre (§. 69.), aber alle Gebirgsrücken, die meisten Wallgebirge, alle Ebnen, und besonders die Krater und Vertiefungen liegen unter einer dichten, die Sonnenstralen reflektirenden Atmosphäre, die vielleicht den höchsten Schichten unsrer Luft nicht unähnlich ist, und Pflanzen und Thieren Leben geben kann. — Fast möchte man sich sogar einbilden, daß die Spuren von Mond-Bürgern, und den Werken ihrer Kultur und Industrie, sich unsern Augen hin und wider zeigen. Hieher gehört das monatliche Farbenspiel (wie die Vegetation unsrer Aecker nach den Jahrszeiten), mehrere Flecken deren Farbe sich gänzlich geändert hat (vielleicht Urbarmachung oder Verwüstung), eine Menge sehr kleiner heller Flecken, die gar keinen Schatten werfen, also ganz flach liegen, oder höchstens eine Höhe von 50 Fuß haben (unsre Städte und Dörfer), unzählige kleine Lichtpunkte, besonders im *Mare crisium*, die sich nur von Zeit zu Zeit zeigen (vielleicht Felder die nach den verschiedenen Jahrszeiten, und der damit verbundenen Kultur, ihre Gestalt und Farbe ändern). — Doch vielleicht haben wir schon zu lange bey einem Gegenstande verweilt, der nicht so wol der Astronomie als der Physik, und vielleicht der Poesie mehr als beyden angehört.

Natur der Kometen

§. 72. Die große Verschiedenheit die wir zwischen zwey so nahe verwandten Weltkörpern gefunden haben, wie die Erde und der Mond sind, läst vermuthen, daß eine noch weit größre Mannigfaltigkeit unter den entfernteren Planeten vom Merkur bis zum Uranus statt finde. In wie viel höherem Grade mag der Reichthum der Natur sich auf den Millionen Kometen gezeigt haben, die die Sonne umschwärmen! In der That ist die große Mannigfaltigkeit, die unter diesen Weltkörpern statt findet, das einzige was uns bisher die Beobachtungen von ihnen gelehrt haben. Seit dem Ursprunge der Astronomie hat man immer dieselben Planeten beobachtet, und mit jedem Jahre kann man hoffen, neue Entdeckungen

auf ihnen zu machen. Jeder Komet aber zeigt sich uns nur einmal, auf kurze Zeit, und in großer Entfernung: der nächste ist vielleicht ganz andrer Natur, als sein Vorgänger; und fast alle sind von einem undurchdringlichen Nebel umhüllt. Es ist wahrscheinlich, daß dieser Nebel, wenigstens zum Theil, eine wahre planetarische Atmosphäre, ein mit Dünsten angefüllter Luftkreis ist; aber es läst sich nicht denken, daß das dünne lockere Gewebe, welches die Kometen in ungeheuren Entfernungen umgibt, und sich gewöhnlich in einem Schweif endigt, der bey dem Kometen von 1769 eine Länge von 40 Millionen Meilen hatte, aus eben so dichter Materie bestehe, wie die Atmosphäre unsrer Erde oder auch nur des Mondes. Die richtigste Vorstellung die man sich von diesen Weltkörpern machen kann, ist wahrscheinlich folgende.

An vielen Kometen hat man deutlich einen planetenartigen, soliden, runden Kern bemerkt, der unter andern bey dem von 1799 einen Durchmesser von 373 Meilen, also die Größe der neu entdeckten Planeten hatte, und fast so groß wie der Mond und Merkur war. Dieser Kern ist von einem schwächern, aber eben so gleichförmigen, und kreisrunden Lichtnebel umgeben, dem Kopf des Kometen, der sich so wol von dem soliden innern Kern, als von dem dünnen äußern in einem Schweif sich endenden Haar deutlich unterscheidet, und sich nicht gleich diesem allmählig in ein schwächeres Licht verliert, sondern völlig von ihm abgesondert und scharf begränzt ist: dies ist die wahre Atmosphäre oder mit Dünsten geschwängerte Luft. Daraus, daß der Kern bald heller bald trüber erscheint, folgt, daß in der ihn unmittelbar umgebenden Atmosphäre große Veränderungen vorgehn. Nun folgt ein dünnerer Lichtnebel, das eigentliche Haar des Kometen, das keine bestimmten Gränzen hat, sondern sich in immer matterem Lichte verliert, bald größer bald kleiner ist, und an der von der Sonne abgewandten Seite einen langen Schweif bildet. Dieser Nebel ist so dünn, daß man selbst nahe am Kometen

die kleinſten Sterne dadurch ſehen kann; und es iſt wahrſcheinlich eine ſelbſt leuchtende oder phosphoriſche Materie, ein Lichtſtoff wie das Zodiakallicht. Vielleicht iſt es die aus den unzähligen Sonnen ausſtrömende, im ganzen Weltraum verbreitete Licht-Materie, die der Komet auf ſeiner ſchnellen Bahn an ſich reißt und verdichtet. Vielleicht haben die Kometen ſelbſt eigenes Licht, dergleichen H. Herſchel nach ſeinen Beobachtungen auch den Planeten beylegt, das aber ſtärker leuchtet als das Licht der Planeten, und ſchwächer als das Sonnen-Licht: ſo daß die Kometen ein beſondres Glied in der Kette zwiſchen den Sonnen und den Planeten bildeten. Dies wird auch dadurch wahrſcheinlich, daß man nie, oder höchſtens nur einmal, Phaſen an den Kometen bemerkt hat, und daß überhaupt die hintere oder von der Sonne abgewandte Seite der Kometen nicht dunkler als die vordre ſcheint, alſo keinen Schatten wirft. Ueberhaupt ſcheint ihre Maſſe viel feinerer Art als die der Planeten zu ſeyn, weil ſie unerachtet ihrer oft geringen Entfernung von der Erde, doch nie eine merkliche Störung in ihrer Bahn angerichtet haben. — Ein ſolcher planetenartiger Komet war auch der von 1807, deſſen Kern in der Mitte des Oktobers als ein ſehr helles Pünktchen, etwas kleiner als der III Jupiters-Trabant, alſo etwa von $1\frac{1}{2}''$ im Durchmeſſer erſchien. Da der Komet damals um $\frac{1}{6}$ weiter von uns war als die Sonne, ſo folgt daraus, daß ſein Durchmeſſer $\frac{1}{10}$ vom Erd-Durchmeſſer oder 172 Meilen enthält, daß er alſo 1000 mal kleiner als die Erde, und 40 mal kleiner als Merkur iſt. Der Kopf, von dem der Kern durch gewöhnliche Teleſkope nicht zu unterſcheiden iſt, war von der Größe Jupiters, ſein Luftkreis war alſo im Durchmeſſer 30 mal größer als der Kern oder der Komet ſelbſt. Das Haar hatte 6′ im Durchmeſſer, war alſo 240 mal größer als der Kern, und 9 mal größer als der Kopf. Der Schweif hatte eine Länge von 4°, welches eine Ausdehnung von anderthalb Millionen Meilen beweiſt.

Außer diesen Kometen, die den Planeten ganz ähnlich sind, und sich von ihnen höchstens nur durch ein stärkeres eigenes Licht unterscheiden, scheint es auch andre zu geben, unter denen vielleicht wider eben so große Mannigfaltigkeit statt findet, deren ganze Masse aus flüssigen Dünsten oder Lichtstoff besteht: denn an sehr vielen Kometen hat man auch mit den besten Fernröhren keinen Kern bemerkt, man erkennt sogar die Sterne durch ihren Mittelpunkt. Dies würde dann eine ganz neue Klasse von Weltkörpern seyn, deren Bewohner, wenn es solche gibt, nicht auf ihnen wohnen, sondern in ihnen schwimmen, und die vielleicht bestimmt sind, den im Weltraum zerstreuten Lichtstoff zu sammeln, und von Zeit zu Zeit in die Sonne zu stürzen, um die erschöpfte Lichtquelle ihrer Atmosphäre wider an zu füllen (§. 55.).

Veränderliche Sterne.

§. 73. Alle in diesem Kapitel gesammelten Beobachtungen betreffen nur einen Theil von unserm Sonnensystem, einem der unzähligen kleineren Räder der großen Welten-Maschine; und wie wenig ist das, wenn man den Mond ausnimt, den man gewissermaßen als einen Theil der Erde ansehn kann! wie unvollkommen ist unsre Kenntniß von der physischen Beschaffenheit der entferntern Planeten und Kometen! wie wenig dürfen wir also hoffen, ähnliche Entdeckungen ausser den Gränzen unsers Sonnensystems, oder vollends jenseits unsrer Milchstraße zu machen! Auch läst sich die dürftige Erndte, die man bisher in diesem Felde gemacht hat, die aber bey der Menge und dem Fleiß der Beobachter sicher mit jedem Jahre reichlicher ausfallen wird, in wenigen Zeilen zusammen fassen.

Veränderliche Sterne, deren Licht ab oder zunimt, hat man so viele beobachtet, daß man fast zweifeln möchte, ob es irgend einen Stern gebe, dessen Licht völlig unveränderlich, so wie im strengsten Sinn sein Ort unveränderlich sey. Vielleicht würde man an jedem Stern, wenn man ihn mit der gehörigen Aufmerksamkeit in dieser Rücksicht beobachtete, ähnli-

che Aendrungen der Farbe und des Lichts bemerken, als die wirklich an mehreren Hunderten beobachteten sind, und die man in drey Klassen theilen kann, periodischen Lichtwechsel, zufällige, an keine Zeit gebundene Aendrungen, und gänzliches Verschwinden.

Unter den Sternen, deren Licht in einer bestimmten Zeit ab und wider zunimt, sind folgende die merkwürdigsten. Algol im Medusenkopf ändert sich in der kurzen Periode von 2 Tagen 20 St. 49 Min. von der 2ten bis zur 4ten Größe: wenn er am kleinsten ist, welches etwas über $\frac{1}{4}$ Stunde dauert, wird sein Licht zugleich plötzlich blässer. β in der Leyer in einer Periode von 5 Tagen, δ im Cepheus in 6 Tagen, η im Antinous in 7 Tagen 4 St. ändern ihr Licht von der 3ten bis zur 5ten Größe; α im Herkules hat eine Licht-Periode von 60 Tagen, und ein Stern im Sobieskischen Schilde von 62 Tagen. Der wunderbare Stern im Wallfisch (mira Ceti) leidet in der Periode von 331$\frac{1}{2}$ Tagen sonderbare Aendrungen seines Lichts: in seinem grösten Glanz ist er von der 2ten, zuweilen nur 3ten Größe, und nimt dann so sehr ab, daß er oft ganz unsichtbar wird; auch scheint es, daß er jene Periode nicht immer genau beobachtet. Eben so merkwürdig ist χ im Schwan, der zuweilen von der 4ten bis 3ten Größe ist, zuweilen ganz verschwindet: jetzt scheint seine Licht-Periode von 407 Tagen, ehemals aber kürzer gewesen zu seyn. In der Hydra gibt es einen Stern 4ter Größe, der eine Licht-Periode von 494 Tagen hat. — Die natürlichste Erklärung dieser periodischen Aendrungen ist wol die, daß die Sterne sich, gleich unsrer Sonne, in einer solchen Periode einmal um ihre Axe drehn, und daß ihre eine Seite ein schwächeres Licht hat, oder mit größeren Flecken bedeckt ist, als die andre; da sie uns dann größer oder kleiner scheinen, nachdem sie uns mehr von ihrer hellen oder dunkeln Seite zukehren.

Da diese beyden Voraussetzungen, der Rotation und der Flecken, wahrscheinlich bey allen Sternen statt finden, und wir doch nicht bey allen einen periodischen Lichtwechsel wahrnehmen, so kann dieser Unterschied nur daher rühren, daß bey einigen die Flecken unveränderlicher Natur, bey andern aber, wie bey unsrer Sonne, sehr wandelbar sind. An diesen letztern werden wir dann keine periodische, sondern zufällige Aendrungen bemerken, so wie unsre Sonne aus einer großen Entfernung, in solchen Jahren da sie von Flecken ganz frey ist, wahrscheinlich heller glänzt, als wenn sie mit vielen Flecken bedeckt ist. — In der Brust des Schwans ward zuerst 1600 ein Stern von der 3ten Größe endeckt, der 20 Jahre nachher verschwand. Nach 60 Jahren zeigte er sich wider von der 3ten Größe, die er aber seitdem nie wider erreicht hat: jetzt scheint er von der 6ten Größe. Athair im Adler, jetzt ein Stern 1ter Größe, war ehemals nur von der 2ten. Die 7 Sterne des Wagens im großen Bären scheinen ihr Licht beständig zu ändern, so daß bald dieser bald jener der hellste ist: besonders ist der nächste am Schwanze (δ), der von Tycho als ein Stern 2ter Größe aufgeführt wird, jetzt von der 4ten; und derselbe Fall ist mit α im Drachen*), und so vielen andern, die jetzt zu einer weit höheren oder niedern Größe gehören, als ihnen in den ältern Stern-Verzeichnissen beygelegt wird. — Zu den Sternen die eine nicht periodische Aendrung ihres Lichts, oder vielmehr ihrer Farbe leiden, gehört auch der schönste des Himmels, Sirius, der sich jetzt durch sein blendend weißes Licht auszeichnet, den Alten hingegen wegen seiner rothen Farbe auffiel (*).

Welche totale Revolution muß auf dieser Sonne, oder wenigstens in ihrer Atmosphäre vorgegangen seyn! und welche

---

*) „*Rubra* canicula.“ *Hor. Sermon. Lib. II. Sat. 5, 39.* — „Caniculae *rubor*.“ *Sen. Quaest. Nat. I. 1.* — „κύων ποικίλος“ (buntfarbigt, scheckigt). *Arat. Phaen. 326.*

noch weit größre Katastrophe müssen diejenigen Sterne erlitten haben, deren Stelle am Himmel nicht mehr gefunden wird, deren Feuer also erloschen ist, wenn man nicht den Untergang ganzer Sonnensysteme annehmen will. Sie befinden sich also noch jetzt, wiewol uns unsichtbar, an der nämlichen Stelle; und man möchte hieraus schließen, daß es vielleicht am Himmel eben so viele und so große dunkle Körper gibt, als leuchtende Sterne, wodurch uns die Bevölkrung des Himmels in einem ganz neuen Lichte erscheint. Nicht allein erwähnt die Geschichte vieler Sterne, die plötzlich erschienen und nach einiger Zeit wider verschwunden sind; auch viele in den ältern Katalogen aufgeführten großen Sterne suchen wir jetzt vergebens am Himmel, indeß andre nun am Firmament glänzen, die den Alten unbekannt waren. Daß diese wenigstens nicht alle auf Rechnung der Nachläßigkeit der ältern Beobachtungen zu schreiben sind, oder zu den Kometen gehören, davon überzeugen uns unzählige Erfahrungen. — Am 11 November 1572 entdeckte Tycho in der Kassiopeja einen Stern, der gleich anfangs, als wenn er plötzlich entstanden oder entzündet wäre, Jupiter und Venus an Glanz übertraf, und sogar am Tage sichtbar war. Bald nachher nahm sein Licht ab, und nach 16 Monaten verschwand er gänzlich, ohne daß man seitdem die geringste Spur von ihm hat entdecken können. — Den 10 Oktober 1604 entdeckte Kepler einen Stern im Schlangenträger, der jenem an Glanz nahe kam, aber nach einem Jahr verschwand. — Den 20 Junius 1670 zeigte sich am Kopfe des Schwans ein Stern 3ter Größe, der nach 7 Wochen nur noch von der 5ten war, und bald nachher unsichtbar ward: im folgenden Jahr erschien er wider mit schnellem Lichtwechsel, bis er ein Jahr später auf immer verschwand. — Zu eben der Zeit entdeckte Cassini 5 neue Sterne in der Kassiopeja, wovon 3 nachher verschwunden sind. Aehnliche Revolutionen sind fast in allen Gegenden des Himmels bemerkt.

Nebelflecke, u. s. w.

§. 74. Wenn man bedenkt, daß jede Veränderung auf einem Fixsterne, die wir in dieser unermeßlichen Entfernung bemerken, nicht ohne wichtige Folgen seyn kann, die sich durch sein ganzes Sonnen-System erstrecken, so kann man sich vorstellen, welche ungeheure Revolutionen in einer ganzen Milchstraße, einem System von Millionen Sonnen, vorgehn müssen, wenn sie uns in dieser ohne Vergleich größern Entfernung sichtbar werden sollen. Die geringste Aendrung in der Farbe oder Gestalt eines Nebelflecks, die wir kaum mit den vollkommensten Teleskopen bemerken, war vielleicht eine Katastrophe, wodurch eine veralterte Welt in ihr ursprüngliches Chaos zurück sank, oder eine neue Welt aus dem rohen Keim sich entwickelte. Warum solte die plastische Natur nicht noch jetzt im großen wirken, wie sie es täglich im kleinen auf unserm und wahrscheinlich jedem andern Planeten thut? In der That machen nicht allein die Beobachtungen, die im vorigen §. erzählt sind, sondern auch manche auf dem größern Felde der Nebelflecken bemerkte Erscheinungen, es wahrscheinlich, daß auch am Himmel nicht alles bereits seine höchste Vollkommenheit erreicht, oder auch manches sie schon überlebt hat. Die 2500 Nebelflecken die H. Herschel beobachtet hat, sind an Gestalt, Farbe und Licht, sehr verschieden, und man kann sie in eigentliche Nebelflecken, Sternhaufen, Nebelsterne, und planetarische Nebel theilen. — Die letzten haben einen dichten planetenartigen Kern, von ganz gleichförmigem Licht, und konzentrisch rundem scharf begränzten Umfange. — Die ersten lassen sich entweder gar nicht, oder doch nur durch die stärksten Fernröhre zum Theil in Sterne auflösen. — In den Sternhaufen sind die Sterne äußerst enge zusammen gedrängt, entweder zerstreut und gleichsam aufs gerade wol hin geworfen, oder in sphärischer Form gleichförmig vertheilt, und nach der Mitte hin dichter gedrängt. Diese Sterne sind nur wenige Sekunden von einander, so daß, wenn ihre wahre Entfernung einer gewöhnlichen Sternweite gleich wäre, sie eine so

ungeheure Entfernung von uns haben müsten, daß es unmöglich seyn würde, sie so deutlich zu erkennen. Ihr Anblick macht es wahrscheinlich, daß sie einander viel näher sind, daß also die ganze Gruppe zwar aus Sternen, aber nicht aus eigentlichen Sonnen, deren jede der Zentralkörper unzähliger Planeten ist, besteht, sondern ein ganzes System von leuchtenden Körpern ist, die vielleicht wie Saturn, Uranus und Jupiter, einige wenige dunkle Trabanten (Planeten) haben mögen.

Einer der merkwürdigsten Nebelflecken ist der in der Andromeda, der sogar dem bloßen Auge sichtbar ist, und von dem man fast glauben möchte, daß er Verändrungen unterworfen sey, weil er in mehrern ältern Sternverzeichnissen nicht angeführt ist. — Daß der berühmte Nebelfleck am Schwert Orions beträchtliche Verändrungen leide, ist durch die neusten Beobachtungen außer Zweifel gesetzt.

Die geheimnisvollste Erscheinung am Himmel sind vielleicht die Nebelsterne, worunter H. Herschel einen einzelnen sehr deutlich ausgezeichneten Stern, zuweilen von der 7ten oder 8ten Größe, versteht, der im Mittelpunkt eines milchfarbigen Lichts von 3′ bis 5′, also von ungeheurer Ausdehnung, steht, welches so schwach, gleichförmig und unauflösbar ist, daß man es nicht für das verworrene Licht unzähliger Sterne halten kann, weil dann der Zentral-Stern von unglaublicher Größe seyn müste. Es scheinen dies also Sterne oder Sonnen zu seyn, die nicht von Sternen, nicht von einzelnen Weltkörpern, sondern von einem leuchtenden Fluidum, einem Lichtstoff umgeben sind, der sich noch nicht zu sphärischen Weltkörpern gebildet hat, oder aus dem vielleicht der Zentral-Stern durch eine angefangene Verdichtung entstanden ist. — Die planetarischen Nebel wären dann vielleicht eben solche Lichtmassen in einem noch weit unreiferen Zustande, ein Licht-Chaos, in dem noch gar keine Verdichtung vorgegangen ist. Ein Uebergang zwischen beyden wären dann die schon etwas

reiferen planetarischen Nebel, die einen glänzenden Mittelpunkt (nur keinen Stern) haben, in denen also die Lichtmasse schon anfängt sich sphärisch zu bilden, woraus mit der Zeit Nebelsterne, und dereinst Sternhaufen entstehn. Vielleicht gehören zu diesen unvollkommenen Keimen auch die so genannten Milchnebel, d. i. Lichtmassen, die unerachtet ihres sehr starken Lichts, auch durch die stärksten Fernröhre nicht in Sterne aufgelöst werden können. Ein solcher ist der berühmte Nebelfleck Orions, der aber nur ein kleiner Theil eines teleskopischen Nebels ist, welcher sich um dieses Gestirn nach allen Seiten auf 60° ausdehnt. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß dieser ganze Nebel nichts anders ist, als ein planetarischer Nebelfleck, der uns wegen seiner geringen Entfernung so groß erscheint, und daß der eigentliche Nebelfleck am Schwert Orions ein noch unreifer Zentralkörper ist, der, wie man aus seinen Veränderungen schließen kann, noch in seiner Bildung begriffen ist. — Die Gegend des nordlichen Flügels der Jungfrau scheint so sehr mit solchem Lichtstoff angefüllt zu seyn, der sie gleich einer Dämmerung bedeckt, daß alle Sterne dort weit matter als anderwärts erscheinen: auch gibt es dort sehr viele Nebelsterne, die den reichlich verbreiteten Lichtstoff an sich gerissen und konzentrirt haben. — Vielleicht entsteht dieses Fluidum aus dem Licht, welches Millionen von Sonnen seit Jahrtausenden ausschießen, und das auf seinem Wege, indem es unzählige Sonnensysteme durchkreuzt, vermittelst der Attraktion, die sich durch Refraktion, Reflexion, ꝛc. äußert, aufgehalten und irgendwo gesammelt wird, um dereinst neue Sonnen zu bilden. Die Milchnebel verrichteten dann im Universum eben die Dienste im großen, wie die Kometen in unserm Sonnensystem im kleinen (§. 72.).

Schwerer zu erklären sind die **Sternringe**, oder Nebel die einen konzentrischen dunkeln Fleck umgeben, deren H. Herschel aber nur einen beobachtet hat; ferner einige Stellen, die sich durch ihr dunkleres Schwarz vom übrigen Himmel unter-

ſcheiden, wie z. B. eine Stelle im Nebelfleck Orions, eine andre in der Milchſtraße unweit Deneb im Schwan, und die ſo genannten Kohlenſäcke in der ſüdlichen Hemiſphäre. Wenn dies kein optiſcher Betrug iſt, ſo gehört es zu den vielen Räthſeln und Geheimniſſen, deren die Natur, nach jedem neuen Fortſchritt unſrer Kenntniſſe, uns immer neue entdecken läſt, um unſrer Wißbegierde neuen Brennſtoff zu geben.

Zweyter Abschnitt.

Von der Bewegung um einen Zentral-Körper.

Erstes Kapitel.

Kräfte.

Satz des zureichenden Grundes.

§. 75. Nichts geschieht ohne zureichenden Grund. Dies ist einer jener evidenten Sätze, auf denen unsre Metaphysik, Moral, Physik, ja alle Wissenschaften, so fern sie diesen Namen verdienen, und so fern sie mit wirklich existirenden Dingen zu thun haben, nicht allein gegründet sind, sondern die so sehr das Wesen derselben ausmachen, daß sie sich meistens nur damit beschäftigen, von dem was in und außer uns vorgeht, den Grund ausfindig zu machen. Dieses Axiom wirkt auf den Verstand nicht mit der ruhigen Kälte, wie andre theoretische Sätze; es bringt in der Sele eine Gährung hervor, die ihr keine Ruhe läst, bis sie von allem was ihr wichtig ist, den Grund entdeckt, oder sich wenigstens durch Hypothesen in den glücklichen Wahn versetzt, ihn entdeckt zu haben. Diese Begierde wird, gleich dem Hunger und Durst, wenn sie keine Befriedigung findet, zur wahren Folter, und ist eine der mächtigen Triebfedern, wodurch die Natur uns zwingt, Menschen zu seyn. Durch sie werden wir zum Nachdenken, zur Aufklärung, zur Erfindung der Wissenschaften ge-

trieben, wie durch Hunger und Durst zur Erhaltung unsers Körpers, und wie durch den Trieb glücklich zu seyn, zur Erfüllung unsrer moralischen Pflichten. Der Mensch handelt nie menschlicher, als wenn er die moralischen und physischen Kräfte die ihm die Natur verlieh, anwendet, Glück um sich zu verbreiten, oder über die Räthsel die ihm die Natur in der Geister- und Körper-Welt vorlegt, vernünftig nachdenkt; und er entfernt sich von seiner edlen Bestimmung durch beyde Abwege, wenn er sich und andre durch die Befriedigung thörichter oder verderblicher Leidenschaften unglücklich macht, oder sich und andre bethört, indem er die Werke der Natur durch erkünstelte und falsche Hypothesen zu erklären sucht.

Die einfache Bemerkung, daß, wenn nichts ohne zureichenden Grund ist, der Grund jedes Dinges wider seinen Grund haben muß, und daß diese Folge ins unendliche fortgehn, also nichts erklären würde, wenn man nicht endlich auf eine Urquelle, auf ein Wesen das seinen Grund in sich selbst hat, zurück geführt würde, hat uns von der erhabensten Wahrheit überzeugt, die das Glück der edelsten Menschen ausmacht; und der Satz des zureichenden Grundes hat der vollkommensten aller Wissenschaften, der physischen Astronomie, das Daseyn gegeben. Dieser Satz, "alles was ist, hat sei„nen Grund warum es ist, und warum es so und nicht an„ders ist," setzt voraus, daß, um den Grund eines Dinges ausfindig zu machen, wir zuvor nicht allein von seinem Daseyn, sondern von seiner wahren Beschaffenheit vollkommen überzeugt seyn müssen, weil jede unrichtige Vorstellung davon auf einen falschen Grund führen, also zwey Irthümer statt eines hervor bringen würde. Es ist also ein wahres Glück, daß man sich nicht ernsthaft mit der physischen Astronomie beschäftigte, als bis Kepler die wahren Bewegungen der Weltkörper entdeckt hatte, und bis das einzige hier dienliche Werkzeug, die Mathematik, zu hinlänglicher Vollkommenheit gebracht war, um aus den Wirkungen die Ursache her zu lei-

ten; ein noch größres Glück aber war es, daß, so bald beydes geschehn war, ein Mann wie Newton auftrat, der beydes so zu benutzen wuste.

Kräfte. §. 76. Der Gegenstand der physischen Astronomie ist der Grund, und zwar weil hier von Bewegungen die Rede ist, der mechanische Grund, der Bewegungen die am Himmel vorgehn, oder die Kräfte wodurch sie hervor gebracht werden. Das bloße Daseyn jener Bewegungen, die die Astronomen seit Jahrtausenden beschäftigen, war hinlänglich um das Daseyn von Kräften zu beweisen, die die Planeten in ihren Bahnen führen; und Newton hatte nur zu untersuchen, wie diese Kräfte beschaffen seyn müsten, um gerade diese Bewegungen, welche die Beobachtungen zeigen, hervor zu bringen. Der Leitfaden bey diesen Untersuchungen muste also auf einer Seite die allgemeine Theorie von dem natürlichen Verhältniß, Zusammenhange, und der Verbindung, die zwischen Kräften und ihren Wirkungen, den Bewegungen, statt finden, auf der andern Seite die Anwendung dieser Theorie auf die krummlinigen Bahnen der Weltkörper seyn. Letztre erfodert natürlich die Hülfe der Geometrie, erstre aber gehört in das Gebiet der Metaphysik, und macht ihren schönsten und interessantesten Theil aus, der bey Gelegenheit dieser mathematischen Untersuchungen eigentlich erst bearbeitet ward.

Wenn wir einen leblosen Körper, einen Stein, einen Balken, in Bewegung sehen, so schließen wir, daß irgend eine äußre Ursache vorhanden seyn müsse, die den Körper in diese Bewegung versetzt: und diese Ursache ist es, was man im ganz allgemeinen Sinne Kraft nennt, worunter alles verstanden wird, was im Stande ist, Bewegungen hervor zu bringen, zu zerstören, oder auf irgend eine Art zu modifiziren. Jede Bewegung setzt also, vermöge des Satzes des zureichenden Grundes, Kräfte voraus, wenn es uns gleich bey manchen Bewegungen, die uns eine von Kindheit an gemachte tägliche Erfahrung als ganz natürlich ansehen läst, nie ein-

fällt, nach ihrer Urſache zu fragen. Dies iſt der Fall z. B. mit der Schwere. Derſelbe Menſch, der tauſendmal einen Stein vom Dach, oder einen Apfel vom Baum hatte herab fallen ſehn, ohne im geringſten darüber nach zu denken, weil es ihm aus langer Gewohnheit unmöglich ſcheint, daß es anders ſeyn könnte, geräth in Erſtaunen, wenn er einen Stein in die Höhe ſteigen, oder ſich horizontal fort bewegen ſieht, und die Urſache davon, die treibende Kraft, nicht ſogleich entdecken kann, ohne welche, wie ſein ſchlichter Menſchenverſtand ihm ſagt, jene Bewegung ſich nicht denken läſt. Ohne Zweifel denkt er ſich daſſelbe auch bey dem Fall der Körper, ohne ſich deſſen deutlich bewuſt zu ſeyn, weil er nie in dem Fall geweſen war, ſich dieſe Frage vor zu legen, oder weil ſie ihm dadurch völlig beantwortet ſcheint, daß die Körper ſchwer ſind: er findet alſo den Grund der vertikal herab fallenden Bewegung in der Kraft der Schwere, und der Philoſoph muß ſich ſo wol als der Bauer mit dieſer Antwort befriedigen. Es iſt der Mühe werth zu unterſuchen, worauf ſich dieſe Befriedigung gründet.

§. 77. Gewöhnlich iſt die Kraft wodurch eine Bewegung bewirkt wird, ſelbſt ein bewegter Körper, deſſen Bewegung alſo wider eine Kraft voraus ſetzt, ſo daß auch hier, wie beym zureichenden Grunde überhaupt (§. 75.), eine unendliche Kette entſteht, die an nichts hängen würde, wenn man nicht am Ende auf eine erſte Urſache zurück käme, deren allmächtiger Wille alles in Bewegung ſetzt (*). Da es indeſſen der Erfahrung ſo wol als der Vorſtellung, die wir uns von unendlicher Weisheit machen, gerade zu widerſpricht, an zu nehmen, daß jede einzelne Bewegung, jede Natur-Begebenheit, eine unmittelbare Wirkung der Allmacht, daß, mit einem Wort, die Natur nicht Natur ſondern ein Gewebe von un- Urkräfte.

*) „Datur motus, ergo datur motor.“

zähligen Wundern sey, so können wir uns die Sache nicht anders erklären, als daß der Schöpfer in den Keim der Natur gewisse Urkräfte gelegt hat, von denen alle übrigen Kräfte und Bewegungen natürliche Folgen sind. Je weniger solcher Urkräfte es gibt, desto einfacher ist der Plan des unermeßlichen Ganzen, und desto würdiger scheint das Werk seines Urhebers. Da aber das Innre der Natur mit einem wenigstens für unsre jetzigen Augen undurchdringlichen Schleyer bedeckt ist, und sie, wie es scheint, die feinsten Fäden aus denen ihr Gewebe gesponnen ist, mit Sorgfalt vor uns verbirgt, so dürfen wir so wenig hoffen, jene Urkräfte selbst zu entdecken, als es uns trotz aller Zergliederungen und Analysen je gelingen wird, die feinsten Fibern der Pflanzen und Thiere, oder die ersten chemischen Elemente der Körper zu erkennen. Unsre physische oder mechanische Erklärung der Bewegung wird also, wie alle unsre Wissenschaften, ihre Gränzen haben, und wir werden, ohne bis zu der Urkraft oder der ersten Ursache zurück gehn zu können, uns begnügen müssen, wenn es uns gelingt, bisher unerklärliche Bewegungen oder Phänomene als nothwendige Wirkungen einer bereits bekannten Kraft dar zu stellen. So wie nichts eine Hypothese verdächtiger macht, als wenn sie für jede Art von Wirkungen eine neue Kraft erschaffen muß, so dürfen wir uns schmeicheln, daß wir dem wahren Natur-System desto näher kommen, je mehr und je mannigfaltigere Erscheinungen wir durch eine und dieselbe einfache Kraft zu erklären im Stande sind, wenn gleich dieselbe noch um viele Grade der Urkraft untergeordnet ist. So hielt man mit Recht die Mechanik des Himmels für erklärt, so bald Newton bewiesen hatte, daß alle Bewegungen der Weltkörper nothwendige Folgen von derselben Kraft sind, die sich uns in tausend Gestalten und Wirkungen täglich zeigt, und die jedem unter dem Namen der Schwere bekannt ist, ohne diese Kraft wider durch eine andre der Urkraft noch nähere erklären zu wollen.

Richtung der Kräfte.

§. 78. Da man unter Kraft dasjenige versteht, woraus die Bewegung wie die Wirkung aus ihrer Ursache entsteht, so müssen sich alle Umstände derselben daraus erklären lassen. Eine Bewegung unterscheidet sich von der andern durch ihre Richtung und Geschwindigkeit: die Kraft wodurch sie hervor gebracht wird, muß also eine Richtung haben, die mit jener überein kömmt, und eine Stärke die dieser Geschwindigkeit angemessen ist; denn es begreift sich leicht, daß eine Kraft desto stärker seyn muß, je schneller sie den Körper bewegt, und daß sie ihm keine andre Richtung geben kann, als die sie selbst hat. Diese beyden Dinge, Richtung und Stärke, bestimmen also jede Kraft: das erstre hat keine Schwierigkeit, weil es nichts anders ist, als die gerade Linie nach der der Körper fort geht oder gehen soll; indeß wird die Sache etwas verwickelter, wenn mehrere Kräfte zugleich wirken. Haben alle Kräfte die nämliche Richtung, so können sie auch dem Körper keine andre Richtung geben: bloß ihre Stärke, oder die dem Körper mitgetheilte Geschwindigkeit wird durch die Menge der Kräfte vermehrt, und es ist offenbar derselbe Fall, als wenn eine einzige Kraft nach derselben Richtung wirkte, die der Summe aller jener Kräfte gleich ist. So wie in diesem Fall eine Kraft die andre verstärkt, so muß das entgegen gesetzte statt finden, die Kräfte werden einander schwächen, wenn sie entgegen gesetzte Richtungen haben. In solchem Fall bringt man alle Kräfte, die nach einer Seite wirken, in eine Summe, als wenn nur zwey Kräfte einander entgegen wirkten, und subtrahirt die kleinere Summe von der größern, da dann der Körper nur mit der Differenz beyder Summen, nach der Richtung der Kräfte die die größre Summe geben, getrieben wird: sind also beyde Summen gleich, so wird der Körper weder nach der einen noch der andern Seite getrieben, er bleibt also in Ruhe, als wenn gar keine Kraft auf ihn wirkte. Wenn 6 Pferde einen Stein nach Osten, und 6 andre von gleicher Stärke ihn nach Westen ziehn, so wird er gar

nicht aus seiner Stelle gebracht; vereinigt sich aber mit den erstern ein siebentes Pferd, so wird der Stein mit der Kraft eines Pferdes nach Osten bewegt werden. — Die erste Regel ist also, alle Kräfte von derselben Richtung in eine Summe zu bringen, da man dann so viele Total-Kräfte erhält, als es verschiedene Richtungen unter ihnen gibt; und dann die Kräfte, die gerade entgegen gesetzte Richtungen haben, von einander zu subtrahiren.

Mittlere Kraft.

§. 79. Allein, wenn die Richtungen der Kräfte nicht in gerader Linie liegen, sondern einen Winkel mit einander machen, so muß die Geometrie der Arithmetik zu Hülfe kommen.

18. Fig.

Wenn (18. Fig.) auf einen Körper **A** zwey Kräfte P, Q, nach den Richtungen **AB**, **AC**, wirken, und ihre Stärke in solchem Verhältniß steht, daß, wenn jede für sich allein wirkte, die größere P den Körper **A** in 1 Sekunde durch **AB**, die kleinere Q aber durch **AC** treiben würde, so wird er offenbar durch die vereinigte Wirkung beyder, eine mittlere Bewegung **AD** erhalten, die weder mit **AB** noch **AC** in Größe und Richtung überein kömmt, sondern zwischen beyde fällt; und es ist das nämliche, als wenn statt jener beyden Kräfte P, Q, eine einzige Kraft R auf den Körper nach der Richtung **AD**, und mit einer Stärke wirkte, die sich zu P und Q wie **AD** zu **AB** und **AC** verhält: sie heist die mittlere Kraft die aus jenen beyden zusammen gesetzt ist, und man findet ihre Richtung und Größe **AD** durch folgende Schlüsse. So wie man die Wirkung zweyer Kräfte von entgegen gesetzten Richtungen findet, wenn man annimt, daß jede eben so wirkt, als wenn sie allein wäre, so daß der Körper erst von der einen Kraft nach Osten, alsdenn von der andern nach Westen zurück geführt wird, so wird sich auch hier beyder Kräfte P, Q, Wirkung **AD** ergeben, wenn man annimt, daß der Körper erst durch die Kraft P nach **AB**, und dann durch die Kraft Q von **B** nach **AC**, oder vielmehr, weil er nun nicht mehr in **A** sondern in **B** ist, durch **BD**, welches **AC**

gleich und parallel iſt, geführt werde. Wenn auf den Körper eine Kraft A nach Oſten wirkt, die ihn, für ſich allein, in 1 Sek. durch 9 Fuß, und eine andre B nach Weſten, die ihn nur durch 3 Fuß treiben würde, ſo geht er, wie wir geſehn haben, in 1 Sek. 6 Fuß nach Oſten, weil B von A ſubtrahirt die Differenz 6 läſt: der Körper befindet ſich alſo am Ende der Sekunde an der nämlichen Stelle, als wenn er erſt durch die Kraft A wirklich 9 Fuß nach Oſten, und dann durch B 3 Fuß nach Weſten zurück geführt wäre. Wenn alſo B nicht nach Weſten, ſondern nach Norden oder Nord-Oſt wirkt, ſo wird man ebenfalls den Weg des Körpers erhalten, wenn man annimt, daß er erſt durch die Kraft A 9 Fuß nach Oſten, und dann von dieſer Stelle durch die Kraft B 3 Fuß nach NO gebracht ſey. Denkt man ſich alſo unter AB und AC die Richtungen nach O und nach NO, ſo findet man den Ort D welchen der Körper, der am Anfange ſeiner Bewegung in A war, am Ende einnimt, wenn man ihn erſt durch AB = 9 Fuß nach O, und dann von B durch BD = 3 Fuß nach NO, folglich mit AC parallel führt: der Körper hat alſo wirklich die Linie AD durchlaufen, die, wenn man noch CD ∦ AB zieht, nichts anders iſt als die Diagonale des Parallelogramms, deſſen beyde Seiten AB = CD und AC = BD, die Richtung und verhältnismäßige Stärke beyder Kräfte P, Q, ausdrücken; man nennt es das Parallelogramm der Kräfte. Wenn alſo (19. Fig.) zwey Kräfte P, Q, ihrer Richtung und Stärke nach gegeben ſind, ſo findet man die aus beyden entſtehende mittlere Kraft, indem man auf irgend einen Punkt B in der Richtung AB der einen Kraft P, eine Linie BD aufrichtet, die der Richtung der andern Kraft Q parallel iſt, und ſich zu AB verhält, wie Q zu P: dann iſt AD die Richtung der mittleren Kraft R, und es verhält ſich R zu P wie AD zu AB, oder R zu Q wie AD zu BD. Da die Richtungen beyder Kräfte P, Q, gegeben ſind, ſo kennt man den Winkel ABD den ſie mit ein-

Parallelogramm der Kräfte. 19. Fig.

ander machen, also auch die Summe der andern beyden Winkel im Dreyeck A B D, nämlich $A + D = 180° - B$ (Sph. §. 15. n. 7.). Da ferner ihre Stärke gegeben ist, so kennt man auch das Verhältniß der Linien A B, B D. Theilt man also $A + D$ in zwey Winkel, deren Sinus sich verhalten wie die gegenüber stehenden Seiten B D, A B, so hat man die Winkel A und D, und dann A D selbst durch die Proportion, $\sin D : \sin B = A B : A D = P : R$ (Th. §. 15. n. 8.). Der Winkel A bestimmt die Richtung der mittleren Kraft R, A D ihre Stärke.

Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte.

§. 80. Durch diese Zusammensetzung der Kräfte kann man die verwickeltsten Fälle, die sich in der Mechanik denken lassen, immer auf den einfachen Fall zurück bringen, da nur eine einzige Kraft wirkt. Wenn nämlich noch so viele und noch so verschiedene Kräfte A, B, C, &c. nach allerley Richtungen auf einen Körper wirken, so läst sich nach der eben gegebenen Regel, eine mittlere Kraft finden, die den Körper eben dahin treiben würde, wohin ihn alle jene Kräfte in eben der Zeit treiben. Zwey Kräfte A, B, wirken nicht anders, als die aus ihnen entstehende mittlere Kraft M: man erhält also statt A, B, C, &c. die Kräfte M, C, &c. und nun geben die zwey Kräfte M, C, wider eine mittlere N, so daß auf den Körper nur N wirkt: und so lassen sich alle Kräfte durch fortgesetzte Kombination von zweyen endlich auf eine einzige bringen.

Die umgekehrte Operation, oder die Zerlegung der Kräfte, läst sich oft in der Mechanik mit nicht weniger Nutzen anwenden. So wie die Kraft A D (19. Fig.) aus den Kräften A B, B D, oder A C, C D, entsteht, so läst sie sich auch wider in diese zerlegen, weil sie allein eben so wirkt, wie diese beyden gemeinschaftlich. Wenn also eine Kraft A D ihrer Richtung und Größe nach gegeben ist, so lassen sich statt ihrer zwey andre A C, C D, &c. auf unzählige Arten substituiren, indem man auf A D als der Basis jedes beliebige Dreyeck

ABD, ACD, ꝛc. aufrichtet. Jede der Seiten-Kräfte AC läſt ſich wider als eine mittlere Kraft in zwey andre Seiten-Kräfte AE, EC, zerlegen; und auf dieſe Art kann man fortfahren, ſo weit man will. Gewöhnlich zerlegt man jede Kraft AD in zwey auf einander ſenkrechte AC, CD.

Stärke der Kräfte.

§. 81. Mit der andern Eigenſchaft der Kräfte, nämlich ihrer Stärke (§. 78.), verhält es ſich wie mit allen Größen. Extenſive Größen, wie Linien, Kugeln, ꝛc. laſſen ſich zwar den Sinnen darſtellen, aber durch Worte und geometriſch nur dadurch erklären, daß man ihr Verhältniß zu einer Größe von ähnlicher Art, die als bekannt voraus geſetzt wird, angibt. Das Auge gibt mir zwar eine ſinnliche, aber ſehr unſichere und unbeſtimmte Idee von der Höhe eines Berges; dieſe Idee iſt beſtimmter, deutlicher, und läſt ſich dem Gedächtniß einprägen, wenn ich, ohne den Berg geſehn zu haben, weiß, daß er 1000 Fuß hoch iſt, d. h. wenn ich das Verhältniß ſeiner Höhe, zu einem Maaß das meiner Einbildungskraft immer vorſchwebt, kenne. Intenſive Größen, wie Kräfte, laſſen ſich nicht unmittelbar, ſondern nur durch ihre Wirkung, die Bewegung, ſinnlich darſtellen; da aber eine Kraft ſtärker als die andre iſt, ſo laſſen ſich überhaupt die Kräfte, gleich andern Größen, mit einander vergleichen. Die Größe oder Stärke einer Kraft läſt ſich alſo mathematiſch, entweder durch ihre Wirkung, oder durch das Verhältniß angeben, das ſie zu einer Kraft hat, mit der wir vollkommen bekannt ſind, z. B. mit der Schwere; dieſe letztre Vergleichung aber läſt ſich wider nicht anders als vermittelſt der Wirkungen beyder Kräfte anſtellen, die wir alſo jetzt genauer betrachten müſſen.

Ueberhaupt beſteht die Wirkung einer Kraft in der Bewegung die ſie hervor bringt, und Bewegung iſt nichts anders als Verändrung des Orts, Verſetzung von einem Ort in einen andern: ſie iſt alſo deſto größer, je weiter beyde Oerter von einander entfernt ſind, oder je größer der durchlaufene Raum iſt; denn Verſetzung aus einem Ort in den andern läſt ſich

nicht anders denken, als daß der bewegte Körper eine gerade oder krumme Linie, die von diesen beyden Oertern begränzt wird, beschreibt, weil sonst der Körper im ersten Orte vernichtet, und im letztern wider erschaffen werden müste. Allein bey diesem durchlaufenen Raum sind mehrere Dinge zu betrachten. Jede Bewegung setzt eine gewisse Zeit voraus. Diese so wol als der durchlaufene Raum, läst sich geometrisch messen, aber weder das eine noch das andre allein kann zum Maaß der Kräfte gebraucht werden: denn die Wirkung der Kraft ist auf keine bestimmte Zeit eingeschränkt, sondern dauert, wenn sie nicht durch entgegen gesetzte Kräfte oder Hindernisse zur Ruhe gebracht wird, ewig fort, so daß Zeit und Raum bey der Bewegung unendlich sind, oder gar keine bestimmte Größe haben. Es bleibt also für das Maaß der Kräfte nichts anders über, als die Verbindung von Zeit und Raum, die

Geschwindigkeit.

man Geschwindigkeit nennt. Je größer der Raum ist, den der Körper in einer gewissen Zeit durchläuft, desto geschwinder nennen wir seine Bewegung, und wir sagen, daß der Körper A eine 2 oder 3 mal so große Geschwindigkeit habe als B, wenn er in jeder Zeit z. B. 1 Sekunde eine 2 oder 3 mal so lange Linie durchläuft als B. Wir kennen jetzt also drey verschiedene Gesichtspunkte, aus denen sich die Wirkung der Kräfte ansehn läst, Zeit, Raum, und Geschwindigkeit. Die ersten beyden, jede für sich, sind völlig unbestimmt, also bey allen Kräften als gleich groß anzu sehen: sie können daher nicht dienen, eine Kraft von der andern zu unterscheiden, sondern sind nur das metaphysische Vehikel, worin jede Bewegung vorgehen muß, und ohne welche sie nicht denkbar ist. Die Zeit hängt von Umständen ab, ob nämlich der bewegte Körper früher oder später auf Hindernisse stößt; der Raum hängt von der Zeit ab, die seit der ersten Wirkung der Kraft verflossen ist: so bald aber beyde mit einander verbunden werden, so bildet sich der Begrif der Geschwindigkeit, der völlig bestimmt ist, und allein gebraucht werden kann, die Bewegungen, und

die Kräfte aus denen sie entstehn, mit einander zu vergleichen Ob Merkur oder Saturn eine größere Bewegung habe, oder von einer stärkern Kraft getrieben werde, läst sich weder aus dem Raum noch aus der Zeit allein beurtheilen: beyde Bewegungen werden, Dank der Weisheit die sie ordnete, ewig dauern, und der durchlaufene Raum besteht vielleicht jetzt schon aus einer unzähligen Menge von Ellipsen, die bis ins unendliche zunehmen wird; allein, so bald man weiß, welchen Theil dieses unendlichen Raums jeder Planet in einem bestimmten Theil der unendlichen Zeit durchläuft, was für einen elliptischen Bogen ♄ und ☿ in derselben Zeit eines Jahrs, eines Tags, einer Stunde, oder einer Sekunde, um die Sonne beschreiben, so gibt diese Vergleichung das Verhältniß ihrer Geschwindigkeiten.

Ihr Maaß.

§. 82. Wenn man hört, daß die Mechanik oder Dynamik, eine der schönsten und gründlichsten mathematischen Wissenschaften, sich bloß mit der Berechnung der Kräfte und ihrer Wirkungen beschäftigt, ohne sagen zu können, was eigentlich Kräfte sind, so wird man geneigt seyn, die Mathematiker einer Inkonsequenz zu beschuldigen, bis man sich näher mit dieser Wissenschaft bekannt macht. Die Linien, Flächen, und Körper, die den Gegenstand der Geometrie ausmachen, existiren nirgends in der Natur; und doch zieht der Geometer Resultate daraus, wodurch er alles große und kleine in der Natur ausmißt. Kräfte und Geschwindigkeiten sind keine wirkliche Dinge, sondern Begriffe die unser Verstand abstrahirt hat; sie dienen aber zur Berechnung der reellen Wirkungen, der Bewegungen. Geschwindigkeit ist weder Zeit noch Raum, sondern ein aus beyden zusammen gesetzter Begrif: sie ist auch nicht die Bewegung selbst, sondern der stärkere oder schwächere Trieb oder Drang des Körpers sich zu bewegen. Ohne uns in die metaphysischen Spekulationen zu vertiefen, ob die Kräfte zur Geister- oder Körper-Welt zu rechnen, ob sie wirkliche Substanzen oder nur Geschöpfe unsers Verstandes wie die

geometrischen Linien sind, schränken wir uns darauf ein, uns dasjenige dabey zu denken, was unmittelbar vor der Bewegung wie Ursache vor der Wirkung vorher geht, was dieselbe Richtung und Stärke haben muß, und doch nicht die Bewegung selbst ist. Was kann man dann unter „Kraft" verstehn, als jenen unsichtbaren Drang, der den Körper nöthigt sich zu bewegen, und der sich in dem auf der Hand ruhenden Stein unserm Gefühl zu erkennen gibt, noch ehr seine Wirkung, die Bewegung, sich dem Auge zeigt. Kraft und Geschwindigkeit scheinen also kaum von einander verschieden zu seyn: beyde bestehn in einem Drange zur Bewegung, aber doch findet in der Art, wie wir uns beyde abstrakte Ideen vorstellen, ein großer Unterschied statt. Kraft ist etwas außer dem Körper, das ihn treibt, stößt oder zieht, Geschwindigkeit ist der Trieb zur Bewegung, den der Körper selbst durch jenen Stoß erhalten hat; das erstre ist etwas thätiges, das letztre ganz leidend; jene geht vor der Bewegung her, diese äußert sich im Anfange der Bewegung selbst; jene ist die Ursache, diese die unmittelbare Wirkung die sich schon im ersten kleinsten Augenblick zeigt, und die man sich denken kann, ehr noch irgend eine endliche Zeit verflossen oder Raum durchlaufen ist: denn es ist offenbar, daß die Geschwindigkeit nicht nothwendig zunimt, wenn der Körper sich weiter bewegt, sondern sogar nach und nach abnehmen kann, indem Zeit und Raum zunehmen, daß wir uns also darunter etwas von Zeit und Raum ganz unabhängiges denken, so wie die wirkende Kraft so wol stärker als schwächer werden, oder auch ganz unverändert bleiben kann, indem Zeit und Raum unaufhörlich wachsen.

Diese vollkommene Analogie wird uns überzeugen, daß die Geschwindigkeit das natürlichste **Maaß der Kräfte** ist: denn sie ist derselbe Drang, der in der Kraft unsichtbar schlummert, aber nun durch wirkliche Bewegung belebt wird. Man denke sich eine Last die dem Pferde, durch welche sie fort geschleppt

werden soll, fast zu schwer ist, so hat man in der Anstrengung des Pferdes und der Dehnung der Stricke ein Bild von der Kraft, wenn gleich die Last noch ruhig an ihrer Stelle bleibt; so bald aber der geringste Ruck, die geringste Bewegung erfolgt, so zeigt sich eine bestimmte Geschwindigkeit, wenn gleich der Raum, um den die Last weiter gebracht ist, kaum bemerkt werden kann; man sieht, daß die Geschwindigkeit vom ersten unendlich kleinen Augenblick bis zum nächsten grösser wird, sehr bald aber eine Grösse erreicht, die sich nun nicht mehr ändert, wenn gleich das Pferd die Last Stunden lang und Meilen weit fort zieht.

Gesetz der Trägheit.

§. 83. Obgleich der Druck, den ein Stein in meiner Hand auf mein Gefühl äußert, nicht eigentlich die Kraft selbst, sondern schon eine Wirkung von ihr ist, so können wir uns doch jede Kraft nicht anders denken, als wie einen Druck, Zug oder Stoß. Beyde letztern sind nur durch die Richtung unterschieden, die wir der Kraft beylegen, oder durch den Ort wo wir sie annehmen, vor oder hinter dem Körper: da nun diese materielle Vorstellung bey Kräften eigentlich gar nicht statt findet, die man sich vielmehr im Körper selbst denken muß, so sieht man, daß Zug und Stoß im Grunde das nämliche bedeutet, daß man bald diese bald jene Vorstellung brauchen, und daß man sich jede Kraft wie einen Stoß vorstellen kann. Allein zwischen den Kräften und dem eigentlichen Stoß findet in einer andern Rücksicht ein wesentlicher Unterschied statt, der uns auf eine der ersten Grundwahrheiten der ganzen Dynamik führen wird. Unter „Stoß" denkt man sich etwas das nur einen Augenblick wirkt, unter „Kraft" aber eine immer fort oder wenigstens eine Zeit lang wirkende Ursache, so daß Kraft nichts anders ist, als eine ununterbrochene Reihe von Stößen, die in unendlich kleinen Zwischenzeiten auf einander folgen, und so gleichsam in einander fließen, wodurch sie sich von einer wirklichen Menge einzelner

Stöße unterscheiden, die durch merkliche Zeiträume von einander getrennt seyn müssen.

Wenn aber gleich der Stoß im ersten Augenblick wider aufhört, so dauert seine Wirkung, die Bewegung, doch so lange fort, bis entgegen gesetzte Kräfte oder Stöße sie zur Ruhe bringen. Ein herab fallender Regentropfen setzt das ganze Weltmeer in Bewegung; eine aus dem Mörser geworfene Bombe durchschneidet die Lüfte, bis sie durch ihre Schwere zur Erde herab sinkt; und die Billiards-Kugel läuft noch lange, nachdem sie den Stoß erhalten hat, fort, bis die Reibung des Tuchs ihre Bewegung vernichtet. Auch bringt es die Natur der Sache mit sich, daß die Wirkung oder die Bewegung nicht mit dem Stoß zugleich aufhören kann, sondern wenigstens eine Zeit fortdauern muß, weil zu jeder Bewegung eine Zeit erfodert wird, also ohne fortdauernde Bewegung gar keine Wirkung statt finden würde. Die unmittelbare Wirkung der Kraft so wie des Stoßes besteht in der Geschwindigkeit die dem gestoßenen Körper mitgetheilt wird, und diese bestimmt der Raum der in einer gewissen Zeit durchlaufen wird. Wenn aber die Bewegung eine noch so kleine Zeit fort gedauert hat, so ist gar kein Grund warum sie je aufhören solte, es sey dann daß sie Hindernisse antrifft. Jede Kraft bringt in dem Körper auf den sie wirkt, eine Aendrung seines bisherigen Zustandes hervor; denn sonst würde sie sich durch gar nichts äußern, weil der Körper, wenn keine Kraft auf ihn gewirkt hätte, seinen Zustand ohnedem nicht geändert haben würde. So wie sich also keine Wirkung ohne Ursache denken läst, so kann auch ein Körper den Zustand in dem er sich einmal befindet, nie ändern, wenn nicht Kräfte auf ihn wirken.

Der Zustand des Körpers ist entweder Ruhe oder Bewegung, und er ist gegen einen so gleichgültig wie gegen den andern, weil keine Kraft im Stande seyn würde, ihn zu bewegen, wenn er eine natürliche Abneigung gegen Bewegung

hätte, oder wenn ſie ſeiner Natur zuwider wäre. So wenig alſo der Körper ohne wirkende Kraft aus dem Zuſtande der Ruhe in den der Bewegung übergehen kann, ſo wenig kann er, wenn er einmal in Bewegung geſetzt iſt, dieſelbe wider ändern, wenn nicht neue Kräfte auf ihn wirken. Er wird alſo ſeine Bewegung nicht allein ewig, ſondern auch ungeändert fortſetzen; weder ſeine Richtung noch Geſchwindigkeit wird ſich ändern, d. h. er wird ewig (bis er auf Hinderniſſe ſtößt) mit unveränderter oder gleichförmiger Geſchwindigkeit nach derſelben geraden Linie fort laufen. Daß ſeine Geſchwindigkeit von ſelbſt nicht zunehmen kann, wird man leicht zugeben, weil keine neue Geſchwindigkeit ohne Kraft mitgetheilt werden kann; allein eben ſo wenig kann ſie abnehmen, weil ſie ſonſt endlich ganz aufhören müſte; auch iſt gar kein Grund denkbar, warum die Richtung ſich mehr nach einer als nach der andern Seite von der Richtung des Stoßes abneigen ſolte.

Dies iſt das berühmte Geſetz der Trägheit (vis *inertiae*), auf dem ſich unſre ganze Mechanik gründet. Jeder ſich ſelbſt überlaſſene Körper (ſo lange keine äußre Kräfte auf ihn wirken) befindet ſich entweder im Zuſtande ewiger Ruhe, oder ewig gleichförmiger und geradlinigter Bewegung. Man kann alſo nicht aus jeder Bewegung ſchlieſſen, daß Kräfte auf den bewegten Körper wirken, ſondern nur aus krummliniger oder ungleichförmiger Bewegung. Die gerade und gleichförmige beweiſt nicht einmal, daß der Körper je irgend einen Stoß erhalten habe, es ſey dann daß man ſeine erſte Schöpfung einen Stoß nennen will. Als die Allmacht ihn aus Nichts ins Daſeyn rief, muſte ſie ihn zugleich in irgend einen beſtimmten Zuſtand ſetzen: und dies konnte ſowol vollkommene Ruhe, als Bewegung nach dieſer oder jener Richtung, mit jeder beliebigen Geſchwindigkeit, ſeyn.

§. 84. Wenn ein Körper angeſtoßen wird, ſo trifft der Stoß nur einen Theil der Oberfläche. Da ſich nun dieſer Theil nicht ohne groſſen Widerſtand vom Körper los reißen

Abſolute, beſchleunigende und bewegende Kraft,

kann, wenn er nicht vollkommen flüssig ist, so hindern die übrigen Theile die Bewegung, oder halten vermöge des Zusammenhangs und der Festigkeit des Körpers, da sie selbst keinen Stoß erhalten haben, jenen Theil zurück, und die Wirkung des Stoßes kann nicht erfolgen, ohne daß der ganze Körper an der Bewegung Theil nimt. Die Kraft des Stoßes muß also über und durch den ganzen Körper vertheilt werden, und zwar auf gleiche Art, damit alle Theile mit gleicher Geschwindigkeit fort gehn, weil sonst eine Trennung des Körpers erfolgen würde. Auf jedes Theilchen des Körpers fällt also nur ein Theil des Stoßes, und diesen Theil findet man, wenn man den Stoß in so viel gleiche Theile theilt, als die ganze Masse Elemente enthält, d. h. wenn man die Kraft des Stoßes durch die bewegte Masse dividirt. Wenn zwey Massen **A**, **B**, wovon die letztre zehnmal so groß ist als die erstre, von demselben Stoß P angetrieben werden, so ist **B** aus zehn Massen zusammen gesetzt, deren jede so groß als **A** ist, und die alle mit gleicher Geschwindigkeit von P bewegt werden müssen: P muß sich also in 10 gleichen Theilen über **B** vertheilen, und jeder Theil von **B**, der **A** gleich ist, leidet nur einen Stoß $= \frac{1}{10}$ P, erhält also auch nur eine Geschwindigkeit, die der zehnte Theil von derjenigen ist, die der andern Masse **A** mitgetheilt wird, unerachtet der ganze Stoß den **B** leidet, an sich dem Stoß gleich ist, der auf **A** wirkt. Die mitgetheilte Geschwindigkeit kann also unmittelbar nur dann zur Messung oder Vergleichung zweyer Stöße gebraucht werden, wenn die bewegten Massen von gleicher Größe sind: widrigenfalls gibt sie nicht das Verhältniß der Stöße selbst, sondern ihrer Quotienten, wenn jeder durch die Masse die er in Bewegung setzt, dividirt wird.

Dies zeigt uns eine ganz neue Ansicht der Kräfte, die in der Mechanik von großer Wichtigkeit ist. Zwey gleiche Stöße theilen ungleichen Massen verschiedene Geschwindigkeiten mit, und doch ist die Geschwindigkeit das Maaß der Kräf-

te (§. 82.): denn es iſt gewiß, daß die Kräfte ſich verhalten, wie die Geſchwindigkeiten die ſie derſelben Maſſe mittheilen. Da die Bewegung ſelbſt von äußren Umſtänden abhängt, ſo läſt ſich die **abſolute** oder **intenſive** Größe einer Kraft nur dann durch die wirklich erfolgte Bewegung beſtimmen, wenn alle Umſtände, alſo auch die Maſſen gleich ſind. Die wirklich mitgetheilte Geſchwindigkeit verhält ſich wie die abſolute Kraft durch die Maſſe dividirt, und die Kraft deren Maaß ſie iſt, nennt man die **relative** oder **beſchleunigende** Kraft (acceleratrix). Die abſolute Kraft P hat ihre Stärke in ſich ſelbſt, unabhängig von äußern Umſtänden, die beſchleunigende iſt dieſelbe, durch die Umſtände und namentlich durch die Maſſe M auf die ſie wirkt, modifizirt: ihr Maaß iſt der Quotient $\frac{P}{M}$, oder die Geſchwindigkeit die P dem Körper M mittheilt. Das Produkt der beſchleunigenden Kraft oder der Geſchwindigkeit in die Maſſe heiſt die **bewegende** Kraft (motrix), weil dnrch ſie in der That die Größe der ganzen Wirkung oder der Bewegung beſtimmt wird: ſie iſt in unſerm Fall $\frac{P}{M} . M = P$, alſo mit der abſoluten Kraft einerley.

Alles dies gilt, wie man leicht ſieht, nicht bloß vom eigentlichen Stoß, ſondern von allen wirklichen Kräften, die auf eben die Art fortdauern wirken, d. h. die nur einen Theil des Körpers unmittelbar angreifen, und eine beſtimmte Größe haben, der Körper auf den ſie wirken, mag groß oder klein ſeyn.

Zweytes Kapitel.

Zentral-Kräfte.

§. 85. Zu den Kräften die wir im vorigen §. betrachtet haben, und die man die eigentlichen **mechaniſchen** nennen

Mechaniſche und phyſiſche Kräfte.

kann, gehören alle die wir in unsrer Gewalt haben, und die daher nur von außen auf den Körper wirken können, als die Kräfte von Menschen und Thieren, der Druck der Gewichte, ꝛc. alle diese bewegen eine Masse desto langsamer, oder beschleunigen sie desto weniger, je größer sie ist. Allein die Kräfte welche die Natur selbst in ihrer Werkstatt gebraucht, die eigentlichen physischen sind von ganz andrer Art; und hiezu gehören besonders die Zentral-Kräfte, worunter man solche versteht, die immer nach einem gewissen Punkt gerichtet sind. Obgleich sie sich beym ersten Anblick von den übrigen nur durch ihre Richtung zu unterscheiden scheinen, so sieht man doch nach einiger Ueberlegung bald, daß sie wesentlich von ihnen verschieden seyn müssen. Wenn ein Körper unaufhörlich nach dem Mittelpunkt eines Kreises, den er durchläuft, gezogen oder getrieben wird, so kann man sich nicht wohl eine äußre an dem Körper angebrachte Kraft vorstellen, weil diese in jedem Punkt, den der Körper im Kreise einnimt, eine andre Richtung haben müste, weil man sich also, da die Kräfte durch ihre Richtungen sich von einander unterscheiden (§. 78.), in jedem Augenblick wirklich eine neue Kraft denken müste. Eine solche Kraft, die dem Körper unzertrennlich folgt, und mit ihm ihre Richtung unaufhörlich ändert, kann keine äußre Kraft, sondern muß eine physische im Körper selbst befindliche Eigenschaft seyn, oder wenn man will, eine physische Sympathie zwischen der Masse des Körpers und der im Mittelpunkt befindlichen. Sie wirkt also nicht auf die Oberfläche oder einen Theil des Körpers, sondern durchdringt sein Innres, und wirkt in gleichem Grade auf jeden seiner Theile, weil man sie sich als einen der Masse selbst, also jedem ihrer Elemente eigenthümlichen Trieb zum Mittelpunkt vorstellen muß. Bey einer solchen Zentral-Kraft ist es also ganz gleichgültig, wie groß die Masse ist, auf die sie wirkt: denn jedes Theilchen der Masse wird für sich, durch eine ihm inhärirende Kraft, nach dem Mittelpunkt getrieben; in der zehnmal so großen

Masse wirken also zehnmal so viele Kräfte, so daß die beschleunigende Kraft (§. 84.) oder die mitgetheilte Geschwindigkeit immer dieselbe bleibt, die Masse mag groß oder klein seyn. Wie groß diese Beschleunigung ist, das hängt zuerst von der intensiven Stärke der Kraft selbst oder der Solidität des Bandes, der Sympathie ab, die die bewegte und die Zentral-Masse verbindet, von dem willkührlichen Maasstab, den die Natur bey der Ausführung ihres Plans erwählt hat, und dann von der Entfernung beyder Massen: denn es ist natürlich, daß das Band welches die Körper zusammen kettet, lockrer wird, wenn sie sich von einander entfernen und ihrem gegenseitigen Wirkungskreise entziehn. Dies führt uns auf dieselben verschiedenen Ansichten, unter denen wir die Kräfte oben (§. 84.) betrachtet haben.

Schwere.

§. 86. Die Schwere ist eine solche wesentliche Eigenschaft der Materie, eine Kraft der unser eigener Körper gleich allen andern unterworfen ist, deren Druck wir in jedem Augenblick fühlen, und deren Richtung wir an dem freyen Fall der Körper sehen. Jeder Körper fällt senkrecht auf die Erdfläche herab, d. i. in der verlängerten Linie des Halbmessers der Erde: die Kraft der Schwere ist also nach dem Mittelpunkt der Erde gerichtet, und läst sich daher wie eine Kraft ansehn, die ihren Sitz in diesem Mittelpunkt hat, und alle Massen mit gleicher Stärke und Geschwindigkeit an sich reißt: so drücken zwey bleyerne Kugeln von gleicher Größe doppelt so stark auf die Hand oder die Waagschale, als eine, und beyde, auch wenn sie zusammen geschmelzt werden, fallen eben so schnell als eine allein. Die absolute Größe dieser Kraft wird durch die Erfahrung bestimmt, daß alle Körper nahe an der Erde in 1 Sekunde beynahe 16 Fuß tief fallen. Unstreitig hätte die Natur beym ersten Zuschnitt auch so eingerichtet werden können, daß die Körper in 1 Sekunde nur halb so tief oder zweymal so tief fielen; und selbst bey dem vom Urheber der Natur einmal gewählten Maasstabe würden die Kör-

per wirklich zweymal so schnell fallen, wenn die Erde zweymal so viel Masse hätte, weil diese Kraft, als eine wesentliche Eigenschaft der Körper, nothwendig der Masse proportional seyn muß. Allein bey der wirklichen Einrichtung des Universums konnte diese Kraft weder größer noch kleiner seyn: und dies ist es was man die absolute Kraft der Schwere nennt, die also der Masse der Erde T proportional ist, so daß man sie durch T ausdrücken kann.

Obgleich wir unsre Versuche nur auf der Oberfläche der Erde anstellen können, so ist doch kein Zweifel, daß die Kraft die die Erde auf alle Körper äußert, welche in ihrem Wirkungskreise liegen, in größerer Entfernung schwächer seyn werde; und die physische Astronomie hat gelehrt, daß sie sogar im doppelten oder Quadrat-Verhältniß der Entfernung abnimt, so daß die Körper in einer dem Erdhalbmesser gleichen Höhe, wo sie vom Mittelpunkt der Erde zweymal so weit entfernt sind als an der Oberfläche, in 1 Sekunde nicht 16 Fuß, sondern nur den 2 mal 2 oder 4ten Theil d. i. 4 Fuß herab fallen würden. Die den Körpern mitgetheilte Geschwindigkeit, oder die beschleunigende Kraft der Schwere P verhält sich also umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung r, d. i. wie $\frac{1}{r\,r}$, so daß sich P durch $\frac{T}{r\,r}$ ausdrücken läst.

Jede Masse M deren Entfernung vom Mittelpunkt der Erde r ist, erhält also von der Schwere eine Geschwindigkeit die $\frac{T}{r\,r}$ proportional ist: und durch diesen Eindruck der Schwere wird die Masse M selbst zu einer mechanischen Kraft, die sich entweder durch einen Druck, oder wenn die Masse M wirklich mit der Geschwindigkeit $\frac{T}{r\,r}$ herab fällt, durch einen Stoß äußert, der desto stärker wirkt, je größer die Masse und ihre Geschwindigkeit ist: die aus dem Zentral-Körper in den bewegten Körper übergegangene, oder die bewegende Kraft der Masse M muß also durch $\frac{TM}{r\,r}$ ausgedrückt werden. Sie

ist hier nicht, wie bey den mechanischen Kräften (§. 84.) mit der absoluten Kraft T einerley: sie ist das was wir das Gewicht der Körper nennen, welches von der Kraft der Schwere wie die Wirkung von der Ursache verschieden ist.

Zentral-Kräfte.

§. 87. Die Schwere, diese Zentralkraft mit der wir von Kindheit an bekannt sind, ist das unsichtbare, aber darum nicht weniger mächtige Band, welches zwischen dem Stein der aus meiner Hand fällt, und der Erde statt findet. Auf ähnliche Art wird jeder Körper der sich um einen Zentral-Körper bewegt, an ihn gekettet, und man kann sich das Vereinigungsband nicht anders als an beyden Körpern fest geknüpft vorstellen, weil es sie sonst nicht zusammen halten könnte. Man kann sich dieses Band wie ein dem umlaufenden Körper von der Natur eingeprägten Trieb nach dem Mittelpunkt, oder wie eine Kraft die ihren Sitz im Zentralkörper hat, denken. Beyde Vorstellungen sind nur in der Richtung, die man der Zentralkraft gibt, verschieden: im ersten Fall wirkt sie durch einen Stoß, durch ein Treiben, im letztern durch eine Anziehung. Attraktion und Impulsion sind also nur durch die Art, wie wir uns eine und dieselbe Kraft vorstellen, verschieden; es ist ganz wilkührlich, unter welcher von beyden Gestalten wir uns die Zentralkraft denken; eine ist so natürlich wie die andre: und hieraus folgt das wichtige Resultat, von dem wir uns in der Folge überzeugen werden, daß in der That sowol das eine als das andre statt finden muß. Man kann sich die Zentralkraft nicht anders vorstellen, als wie eine gegenseitige Neigung die zwischen zwey Körpern statt findet, so daß beyde, der umlaufende und der Zentral-Körper, der fallende Stein und die ruhende Erde, einander auf ähnliche Art anziehn. Allein hiebey müssen unsre Begriffe auch stehen bleiben; alle Versuche, diese gegenseitige Attraktion physisch oder mechanisch zu erklären, sind fruchtlos gewesen, und es wird uns wahrscheinlich nie gelingen, den Schleyer auf zu heben, der dieses magische Band bedeckt. Wir können es uns

nicht denken, wie zwey durch einen großen Zwischenraum getrennte Körper auf einander wirken, ohne daß derselbe mit Materie angefüllt sey, durch welche die Kraft des einen dem andern sich mittheilt (*). Wir fragen, wie es möglich sey, daß die Sonne auf die Planeten wirke, die Millionen Meilen von ihr entfernt sind; und wir müssen uns mit der Antwort begnügen, daß es möglich seyn muß, weil es wirklich ist, wenn gleich unser beschränkter Verstand die Möglichkeit nicht einsieht. Daß die Erde alle Körper an sich zieht, ist uns von der frühesten Kindheit an bekannt; aber wir sehen das Band nicht, welches den Stein aus einer Höhe von 1000 Fuß zur Erde herab zieht. Die größre oder geringere Entfernung macht hier keinen Unterschied, und es ist nicht leichter, die Schwere auf der Erde zu erklären, als die Sympathie die zwischen der Sonne und dem Uranus statt findet. Es kann von den Astronomen nicht mehr gefodert werden, als der Physiker auf der Erde zu leisten im Stande ist; und die physische Astronomie hat ihre höchste Vollkommenheit erreicht, wenn sie alle himmlische Bewegungen aus der Kraft der Schwere mathematisch erklärt.

Area der Dreyecke.

§. 88. Das zweyte Keplersche Gesetz bezieht sich auf den Flächen-Inhalt der Sektoren oder Dreyecke, welche der Planet um die Sonne beschreibt: der Beweis desselben setzt also die Berechnung der Arealgröße der Dreyecke voraus, die auf folgenden Lehrsätzen beruht.

20. Fig.

1) Jedes Dreyeck ABC (20. Fig.) ist die Hälfte eines Parallelogramms ABDC, welches durch zwey Seiten des Dreyecks, AB, AC, formirt wird. Da nämlich CD=AB, BD=AC (Th. §. 25. n. 2.), und BC beyden Dreyecken ABC, DBC, gemein ist, so sind alle drey Seiten dieser Dreyecke einander gleich, folglich passen sie auf einander

*) „Actio in distans non datur.“

(Sph. §. 15. n. 10.): jedes derſelben iſt alſo die Hälfte des Parallelogramms. Man kann jede Seite AC eines Dreyecks oder Parallelogramms wie die Baſis deſſelben anſehn, und dann heiſt eine aus dem gegenüber ſtehenden Winkel B auf dieſe Baſis herab gelaſſene ſenkrechte Linie BE die Höhe deſſelben. Wenn alſo ein Dreyeck ABC gegeben iſt, ſo läſt ſich immer ein Parallelogramm AD zeichnen, das doppelt ſo groß als das Dreyeck iſt, und mit ihm gleiche Baſis AC und Höhe BE hat.

2) Alle Parallelogramme von gleicher Baſis und Höhe haben gleiche Area. Wenn man nämlich (21. Fig.) die gleichen Grundlinien AB auf einander legt, und die gegenüber ſtehende Seite CD des einen Parallelogramms verlängert, ſo muß die gegenüber ſtehende Seite EF des andern in dieſer Linie, die mit AB parallel iſt, liegen, weil die Höhe oder die ſenkrechte Entfernung der Seiten von einander in beyden Parallelogrammen gleich angenommen iſt. Wenn nun E und F an einer Seite von CD liegen, ſo haben die Dreyecke ACE, BDF, drey gleiche Seiten, weil in jedem Parallelogramm die gegenüber ſtehenden Seiten gleich ſind (Th. §. 25. n. 2.), nämlich $AC = BD$, $AE = BF$, $CD = AB = EF$, alſo auch $CD + DE = EF + DE$ oder $CE = DF$: folglich ſind die Dreyecke von gleicher Größe (Sph. §. 15. n. 10.). Nimt man aber von jedem Dreyeck das Dreyeck DGE weg, und ſetzt AGB hinzu, ſo bleiben die beyden Parallelogramme über, die alſo auch von gleicher Größe ſind. Man wird ſich leicht überzeugen, daß der Beweis eben ſo geführt wird, wenn E in D, oder zwiſchen C und D fällt. 21. Fig.

3) Alle Dreyecke von gleicher Baſis und Höhe haben gleiche Area. Denn für jedes dieſer Dreyecke läſt ſich ein Parallelogramm zeichnen, das doppelt ſo groß iſt, und mit ihm gleiche Baſis und Höhe hat (n. 1.). Alle dieſe Parallelogramme haben alſo auch gleiche Baſis und Höhe, ſind folglich von gleicher Größe (n. 2.), welches daher auch von

ihren Hälften, den Dreyecken, gilt. Besondre Fälle hievon
22. Fig. zeigt die 22. Fig. wo zwey Dreyecke **ABC**, **BDC**, gleiche Basis **AB**=**BD**, und eine gemeinschaftliche Spitze **C**, also auch
23. Fig. dieselbe Höhe **CE** haben, und die 23. Fig. wo beyde Dreyecke **ABC**, **ABD**, die gemeinschaftliche Basis **AB** haben, ihre Spitzen **C**, **D**, aber in einer mit **AB** parallelen Linie **CD** liegen, also von derselben gleiche senkrechte Entfernungen **CE**, **DF**, haben, welche mit den Höhen der Dreyecke einerley sind.

4) Aus den zwey ersten Sätzen folgt, daß jedes Dreyeck die Hälfte von jedem Parallelogramm, also auch von jedem Rechteck ist, welches mit ihm gleiche Basis und Höhe hat: denn man darf nur erstlich das Parallelogramm **AD** (20. Fig.) zeichnen, das doppelt so groß als das Dreyeck **ABC** ist (n. 1.), und dann ein Rechteck das mit **AD** gleiche Basis und Höhe hat, ihm also gleich (n. 2.), folglich auch doppelt so groß als das Dreyeck ist.

5) Die Arealgrößen zweyer Dreyecke **ABC**, **abc**
24. Fig. (24. Fig.) verhalten sich wie die Produkte der Basis in die Höhe, wenn beyde Linien nach demselben Maaß, also durch Zahlen ausgedrückt sind. Wenn z. B. die Basis **AB** 4mal so groß als **ab**, und die Höhe **CD** 3mal so groß als **cd** ist, so verhält sich das Dreyeck **ABC** zu **abc**, wie 4. 3 zu 1. 1 oder wie 12 zu 1. Wenn man die zweymal so großen Rechtecke zeichnet, nämlich **EH**, in dem **GH**=**AB**, **EG**=**CD** ist, und **eh**, in welchem **gh**=**ab**, **eg**=**cd** ist (n. 4.), so werden sich die Hälften oder die Dreyecke eben so verhalten wie die Rechtecke. Nun lege man **gh** auf **Gh**, **ge** auf **Ge**, so daß das kleine Rechteck in **Gefh** fällt, und verlängere **ef** bis **k**, so enthält das Rechteck **GekH** 4 Rechtecke die mit **eh** gleiche Basis und Höhe haben, weil **GH** oder **ek** 4mal so groß als **Gh** oder **gh** ist: folglich ist **GekH** 4mal so groß als **eh**. Aus eben dem Grunde enthält **EH** 3 Rechtecke die mit **GekH** gleiche Basis und Höhe haben, weil **GE**

3mal so groß als Ge oder ge ist: folglich ist das Rechteck EH 3 mal so groß als eH, mithin 3. 4 oder 12 mal so groß als das Rechteck eh. Eben so müssen sich also auch ihre Hälften, oder die Dreyecke ABC, abc, verhalten. Die Area jedes Parallelogramms, dessen Basis = b, Höhe = a ist, läst sich also arithmetisch durch das Produkt ab, und die Area des Dreyecks durch $\frac{1}{2}$ab ausdrücken.

Zentralkraft der Sonne.

§. 89. So bald die mechanischen Wissenschaften zu dem Grade der Vollkommenheit gebracht waren, daß man nicht allein vom Daseyn der Bewegung auf das Daseyn von Kräften schließen konnte, sondern auch eine aus der andern her zu leiten im Stande war, so war nichts natürlicher als der Gedanke, den Newton wo nicht zuerst hatte, doch zuerst ausführte, aus den durch Kepler entdeckten wahren Bewegungen der Weltkörper, die Kräfte zu bestimmen, wodurch diese getrieben werden. Jede krummlinigte Bewegung setzt eine Kraft voraus (§. 83.), die natürlich nach der Gegend gerichtet seyn muß, nach der sich die Bahn krümmt. Da nun alle Bahnen der Planeten und Kometen sich um die Sonne wie um ihren Mittelpunkt krümmen, so folgte, daß alle Planeten von einer Kraft getrieben werden, die nach der Sonne gerichtet ist, oder daß die Sonne eine Zentralkraft besitzt, wodurch die Planeten in ihren Bahnen gehalten werden. In der That kann an dieser Wahrheit niemand zweifeln, der nur mit den ersten Grundsätzen der Mechanik bekannt ist. So wenig es möglich ist, auf einem Tisch eine Kugel im Kreise um den Mittelpunkt herum zu werfen, so unmöglich ist es, daß die Planeten von selbst ihre Bahn krümmen, ohne in jedem Augenblick durch eine Kraft dazu gezwungen zu werden. So wie die Kugel in dem Augenblick, da ich sie aus der Hand geworfen habe, wenn sie gleich vorher noch so oft im Kreise herum geführt ist, der Richtung folgen wird, die meine Hand in diesem Augenblick hatte, und nur ein Faden der sie an den Mittelpunkt fest bindet, oder eine kreisförmige Rille

sie zwingen kann, die vorgeschriebene Bahn zu beschreiben, so ist auch bey den Planeten eine solche Kraft nöthig, die mit jenem Faden oder dem äußern Rande jener Rille überein kömmt, nachdem man sich den eigentlichen Sitz der Kraft in der Sonne oder im Planeten, nachdem man sie sich wie Attraktion oder wie Impulsion vorstellt. Die unregelmäßigste krumme Linie hat doch in jedem Punkt eine bestimmte Richtung, die sich durch eine gerade Linie darstellen läst, welche nichts anders ist als die Tangente der krummen Linie in diesem Punkt. Nur dadurch unterscheidet sie sich von der geraden Linie, daß letztre ihre Richtung nie, erstre aber unaufhörlich ändert: und eben deswegen setzt, nach dem Gesetz der Trägheit (§. 83.), jede krumme Bewegung Kräfte voraus, die unaufhörlich wirken. In dem Augenblick, da diese Kräfte zu wirken aufhören, ist der Körper sich selbst überlassen; er erkennt kein andres Gesetz mehr, als das der Trägheit, und läuft nun mit der Richtung die er zuletzt hatte, d. h. auf der geraden Linie die seine Bahn in dem Augenblick berührte, als die Kräfte aufhörten, ewig fort. Die Planeten würden also in dem Augenblick, da das Gängelband das sie um die Sonne leitet, zerreißt, sich auf immer von ihr entfernen, so wie der Stein den ich an einem Faden um meinen Kopf schleudre, davon fliegt, wenn der Faden zerreißt. Da nun die Bahnen der Planeten elliptisch, folglich in keinem Punkt geradlinigt sind, sondern ihre Richtung immerfort ändern, so muß auch unaufhörlich eine Kraft auf sie wirken, die nach irgend einem Punkt innerhalb dieser Ellipse gerichtet ist; und da der einzige Punkt den alle Ellipsen mit einander gemein haben, der Brennpunkt ist, in dem die Sonne thront (Th. §. 140.), so ist es natürlich, keinen andern als diesen Punkt oder die Sonne selbst zum Sitz der Zentralkraft anzunehmen. Wir werden unten sehn, daß man schon lange vor Newton diese Wahrheit fühlte, welche der brittische Philosoph zuerst auf folgende Art geometrisch bewies.

Zweytes Keplersches Gesetz. 25. Fig.

§. 90. Wenn der Planet in irgend einem Punkt P seiner Bahn (25. Fig.) die Richtung der Tangente PZ hat, und in 1 Sekunde das Stück PQ dieser geraden Linie durchläuft, welches man sich so klein vorstellen muß, daß es wirklich mit dem elliptischen Bogen zusammen fällt, so würde er, kraft des Gesetzes der Trägheit, wenn nun die Zentralkraft zu wirken aufhörte, mit geradliniger und gleichförmiger Bewegung fort gehn, also in der folgenden Sekunde nach eben der Richtung ein gleich großes Stück QR = PQ durchlaufen. Da ihn aber die Sonne S nach der Richtung QS zurück hält, so nehme man an, daß diese Zentralkraft so groß sey, daß der Planet dadurch in 1 Sekunde durch QT gezogen wird. Nun hat der Planet in Q zwey Geschwindigkeiten, QR und QT oder die mit ihr parallele RV = QT: er wird also (§. 79.) die Diagonale QV durchlaufen, die wegen ihrer geringen Größe mit der krummen Linie zusammen fällt; und aus allen diesen Bogen PQ, QV, ꝛc. entsteht die Ellipse oder irgend eine andre krumme Linie. In 1 Sekunde beschreibt demnach der Planet um die Sonne den Sektor oder das Dreyeck PSQ, in der folgenden QSV, und beyde sind von gleicher Größe. Zieht man nämlich noch SR, so sind die Dreyecke PSQ, QSR, gleich groß, weil sie gleiche Basis PQ = QR haben, und ihre Spitzen in S zusammen fallen (§. 88. n. 3. Fig. 22.); ferner sind die Dreyecke QSR und QSV gleich, weil sie dieselbe Basis SQ haben, und ihre Spitzen R, V, in einer mit der Basis parallelen Linie RV liegen (§. 88. n. 3. Fig. 23.): hieraus folgt die Gleichheit der Dreyecke oder Sektoren PSQ und QSV, weil beyde dem Sektor QSR gleich sind. Da bey diesem Beweise die Größe der Zentralkraft QT, oder das Gesetz nach dem sie wirkt, ganz gleichgültig, und weiter nichts angenommen ist, als daß die Bogen PQ, QV, in gleichen Zeiten durchlaufen werden, so folgt hieraus der wichtige Satz: jeder Körper auf den eine Zentralkraft (d. h. immer nach einem Punkt) wirkt, welchem Gesetz diese

Kraft auch folgen mag, beschreibt in gleichen Zeiten um den Zentralpunkt Sektoren von gleicher Area.

Dies ist das zweyte Keplersche Gesetz in seiner grösten Allgemeinheit, aus physischen und geometrischen Gründen bewiesen. Da aber dieses Gesetz von Kepler durch die Beobachtungen unmittelbar bewiesen war, so zeigte Newton, wie sich daraus das Daseyn der Zentralkraft der Sonne geometrisch beweisen läst. Wenn der Planet in 1 Sekunde den Bogen PQ, in der nächsten QV um die Sonne S beschreibt, so folgt aus diesem Gesetz, daß beyde Dreyecke PSQ, QSV gleich sind. Nun läst sich jede Kraft, Geschwindigkeit oder Bewegung QV auf unzählige Arten in zwey andre zerlegen, die mit ihr ein Dreyeck machen (§. 80.), also auch in die Richtungen QR, RV, wovon die erstre mit PQ in gerader Linie liegt und = PQ ist, folglich vom Planeten bloß nach dem Gesetz der Trägheit durchlaufen wird; die andre Seiten-Bewegung RV muß also die Wirkung einer Kraft nach dieser Richtung seyn, oder nach einer damit parallelen QT in Q, so daß der Planet nach QR durch die Trägheit, und nach QT durch die Kraft getrieben, die mittlere Richtung QV durchläuft, die mit dem elliptischen Bogen einerley ist. Es frägt sich also, wohin diese Kraft QT oder RV gerichtet sey. Die Dreyecke PSQ, QSR, sind sich gleich (§. 88. n. 3. Fig. 22.), und QSV ist PSQ gleich kraft des zweyten Keplerschen Gesetzes, folglich sind auch QSV und QSR von gleicher Größe: sie müssen also, da sie auf derselben Basis QS stehn, auch gleiche Höhe haben, d. h. ihre Spitzen V, R, müssen in einer mit der Basis parallelen Linie liegen, oder RV ist # QS; mit andern Worten, die mit RV parallele Richtung QT, nach der der Planet in jedem Punkt Q getrieben wird, geht beständig durch die Sonne S, oder es wirkt auf den Planeten unaufhörlich eine nach der Sonne gerichtete Zentralkraft.

§. 91. Aus der Zentralkraft der Sonne, welche nun durch das zweyte Keplersche Gesetz mathematisch bewiesen ist, folgt noch ein andres Gesetz, welches Kepler gleichfals durch die Beobachtungen entdeckt hatte. Es sey (26. Fig.) PQ ein Theil der Planetenbahn um die Sonne S, und der Planet laufe in 1 Sekunde von P nach p, nach der Richtung seiner Tangente PR, auf welche aus S die Linie ST senkrecht gezogen ist. Der elliptische Bogen Pp ist so klein, daß er mit der Tangente zusammen fällt: wenn man also pq auf SP senkrecht herab läst, so haben die Dreyecke Pqp und PTS drey gleiche Winkel, nämlich qPp = TPS, Pqp = PTS (weil beydes rechte Winkel sind), also auch Ppq = PST. Diese Dreyecke sind einander also ähnlich, oder die Seiten, die zwischen gleichen Winkeln liegen, verhalten sich im einen wie im andern (Th. §. 25. n. 3.). Es ist demnach SP:ST = Pp:pq, oder SP.pq = ST.Pp (Th. §. 25. n. 4.). Der in 1 Sekunde beschriebene Sektor PSp kann als ein Dreyeck angesehn werden, dessen Basis SP und Höhe pq, dessen Area also $\frac{1}{2}$SP.pq ist (§. 88. n. 5.): folglich ist nach dem zweyten Keplerschen Gesetz SP.pq in jeder Sekunde immer von gleicher Größe, also auch das ihm gleiche Produkt ST.Pp. In eben dem Verhältniß, wie Pp zunimt, muß also ST abnehmen, und umgekehrt, damit ihr Produkt immer von gleicher Größe bleibe; oder mit andern Worten, ST verhält sich umgekehrt wie Pp. Dieser letztre Bogen ist der Raum den der Planet in 1 Sekunde durchläuft, oder das Maaß seiner Geschwindigkeit: mithin verhalten sich in jedem Punkt der Planetenbahn die aus der Sonne auf die Tangente der Bahn senkrecht gezogenen Linien ST verkehrt wie die Geschwindigkeiten des Planeten Pp.

Verhältniß der Geschwindigkeiten.

26. Fig.

So wie Pp das Maaß der wahren Raum-Geschwindigkeit ist, so wird der in 1 Sekunde beschriebene Winkel PSp = w das Maaß der Winkel-Geschwindigkeit seyn, die man in der Astronomie die **wahre** nennt. Nun kann man

pq als einen mit dem Halbmesser Sp = r geschlagenen Kreisbogen ansehn, da man dann die Größe von pq erhält, wenn man den Winkel PSp = w, oder den Bogen pq für den Halbmesser 1, mit dem Halbmesser r multiplizirt (Th. §. 83.): es ist also $pq = wr$ oder $w = \frac{pq}{r}$. Nun haben wir eben gefunden $SP.pq = ST.Pp$ oder $pq = \frac{ST.Pp}{SP} = \frac{ST.Pp}{r}$ und $w = \frac{ST.Pp}{rr}$. Da nun ST.Pp eine beständige Größe ist, so folgt, daß w sich verhält wie $\frac{1}{rr}$ oder verkehrt wie rr; d. h. in jedem Punkt der Planetenbahn verhalten sich die wahren Winkel-Geschwindigkeiten um die Sonne, verkehrt wie die Quadrate der Entfernungen. So ist also das Verhältniß welches die Beobachtungen bewiesen hatten (Th. §. 137.), eine nothwendige physische Folge der Zentralkraft der Sonne, nach welchem Gesetz sie auch wirken mag.

Drittes Kapitel.

Zentral-Kraft der Sonne.

Beständige Kräfte.

§. 92. Beym Stoß, der in demselben Augenblick da er erfolgt, auch wider aufhört, kann die ganze Wirkung nur in der Geschwindigkeit bestehn, die dem Körper in diesem Augenblick mitgetheilt ist, und die er vermöge der Trägheit unveränderlich beybehält, bis neue Kräfte auf ihn wirken. Wir können die Geschwindigkeiten so wie die Kräfte, nicht anders uns sinnlich vorstellen oder messen, als durch den in einer gewissen Zeit durchlaufenen Raum; und es ist bey der gleichförmigen Bewegung, wo die Geschwindigkeit immer die nämliche bleibt, folglich auch beym Stoß, gleichgültig, wie groß man

diese Zeit annimt: gewöhnlich wird in der Mechanik eine Sekunde zum Maaß der Zeit und der Geschwindigkeit gebraucht, so daß letztre durch den Raum ausgedrückt wird, der damit in 1 Sekunde durchlaufen wird.

Wenn nun ein zweyter Stoß hinzu kömmt, so wird er dem Körper eine neue Geschwindigkeit mittheilen, wodurch seine durch den ersten Stoß erhaltene, und durch die Trägheit beybehaltene Geschwindigkeit vermehrt wird: dieser Zuwachs der Geschwindigkeit ist also das Maaß des zweyten Stoßes (§. 82.). Wenn nun alle Stöße von gleicher Stärke sind, auch in gleichen Zwischenzeiten auf einander folgen, so wird nicht allein jeder Zuwachs der Geschwindigkeit so groß wie die übrigen seyn, sondern in gleichen Zeiten werden ihrer immer gleich viele erfolgen, so daß in der doppelten oder dreyfachen Zeit die Geschwindigkeit zwey oder dreymal so viel zunimt, als in der einfachen, und überhaupt der Zuwachs der Geschwindigkeit der Zeit proportional ist: man darf also nur die in 1 Sekunde mitgetheilte Geschwindigkeit mit der Zeit multipliziren, um die Geschwindigkeit am Ende dieser Zeit zu finden, so wie man in der Arithmetik multiplizirt, wenn eine Menge gleicher Größen zu addiren ist.

Eine Kraft kann man sich nicht anders vorstellen, als wie eine unzählige Menge von Stößen, die in unendlich kleinen, mithin gleichen Zwischenzeiten einander folgen (§. 83.): sind nun auch alle Stöße, aus denen die Kraft zusammen gesetzt ist, von gleicher Stärke, so ist sie eine unveränderliche, beständige Kraft, und es gilt von ihr, was eben von den Stößen bewiesen ist; sie theilt dem Körper in jedem Augenblick eine neue, aber der vorigen gleiche Geschwindigkeit mit, folglich überhaupt eine Geschwindigkeit die der Zeit proportional ist, die man also findet, wenn man die in 1 Sekunde mitgetheilte Geschwindigkeit mit der verflossenen Anzahl Sekunden multiplizirt. Eine Kraft ist zweymal so groß als eine andre, wenn sie demselben Körper in jedem Augenblick eine

zweymal so große Geschwindigkeit mittheilt; und dasselbe Verhältniß bleibt, wenn man beyde Geschwindigkeiten mit derselben Zeit multiplizirt, daher sich zwey beständige Kräfte verhalten wie die Geschwindigkeiten die sie derselben Masse in derselben Zeit mittheilen, so wie die Geschwindigkeiten, die eine beständige Kraft in verschiedenen Zeiten mittheilt, sich wie diese Zeiten verhalten. Aus der Verbindung beyder Verhältnisse folgt das dritte: die von beständigen Kräften mitgetheilten Geschwindigkeiten verhalten sich wie die Kräfte und die verflossenen Zeiten, also wie das Produkt beyder. So wie also beym Stoß die Geschwindigkeit immer die nämliche bleibt, der durchlaufene Raum aber gleichförmig zunimt, so ist dies bey beständigen Kräften die Geschwindigkeit.

Nennt man also die verflossene Zeit t, den durchlaufenen Raum s, die mitgetheilte Geschwindigkeit u, den Stoß p, und die beständige Kraft P, so ist $s = pt$ und $u = Pt$. Das Maaß der Geschwindigkeit u ist der Raum, der damit in einer Zeit die man zur Einheit annimt, z. B. 1 Sekunde durchlaufen wird: multiplizirt man also diesen Raum u mit einer andern Zeit T, so erhält man den Raum S, der in dieser Zeit durchlaufen wird, vorausgesetzt daß die Geschwindigkeit sich indessen nicht geändert habe; dies gibt beym Stoß $u.T = S$. Wenn aber Kräfte wirken, so nimt die Geschwindigkeit u beständig zu, jedoch hat sie in jedem Augenblick einen bestimmten Werth $= Pt$, womit der Körper sich in diesem Augenblick, aber nicht länger, gleichförmig fort bewegt, weil im nächsten eine neue Geschwindigkeit hinzu kömmt. Denkt man sich also Zeit und Raum in unendlich kleine Theile τ und σ getheilt, so geschieht die Bewegung während eines solchen Theilchens, als wenn nur ein Stoß erfolgt wäre, d. i. gleichförmig, es wird also $u\tau = \sigma$. Vergleicht man dies mit $u = Pt$, so erhält man $\sigma = P.t.\tau$, wo t jede Zeit, τ aber nur einen Augenblick, und σ die unendlich kleine Linie, die

in diesem Augenblick am Ende der verflossenen Zeit t durchlaufen wird, vorstellt.

Veränderliche Kräfte.

§. 93. Bey veränderlichen Kräften erfolgen zwar auch die Stöße in unendlich kleinen, also gleichen Zwischenzeiten, aber sie sind nicht von gleicher Größe. Jeder Stoß dauert nur einen Augenblick, und während dieses Augenblicks kann man, wie bey den beständigen Kräften, weil nur ein Stoß von bestimmter Größe wirkt, die Bewegung gleichförmig annehmen, so daß auch hier (§. 92.) $u\tau = \sigma$ aber nicht $u = Pt$ ist. Da nämlich die Stöße ungleich sind, so ist ihre Wirkung, die Geschwindigkeit, nicht mehr der Zeit proportional; indeß muß man doch jedem Stoß eine wiewol noch so kleine Zeit τ einräumen, während welcher er allein, also eine beständige Kraft wirkt. Von diesem Augenblick τ wird also bey veränderlichen Kräften gelten, was von jeder Zeit t bey beständigen Kräften bewiesen ist: die in diesem Augenblick von der veränderlichen Kraft P mitgetheilte Geschwindigkeit (der unendlich kleine Zuwachs der Geschwindigkeit, den wir $\varkappa$ nennen wollen) ist der Kraft P und der Zeit τ proportional, oder $\varkappa = P.\tau$. Wenn also der Körper nach einer gewissen Zeit die Geschwindigkeit u erhalten hatte, so wird er damit während des Augenblicks τ, so lange u sich nicht ändert, den Raum $u\tau = \sigma$ durchlaufen, im zweyten Augenblick τ gleichfals, ꝛc. Da aber wegen der ununterbrochenen Wirkung der Kraft, im zweyten Augenblick u nicht mehr ungeändert ist, sondern um $\varkappa$ zugenommen hat, so daß nun die Geschwindigkeit $u + \varkappa$ ist, so wird zwar im ersten Augenblick τ der Weg $\sigma = u\tau$ durchlaufen, im zweyten aber $\sigma' = (u + \varkappa)\tau$: beyder Unterschied ist $\sigma' - \sigma = \varkappa\tau$, oder da $\varkappa = P\tau$ ist, $\sigma' - \sigma = P\tau\tau$. Eben dies gilt auch von beständigen Kräften, weil wir es bloß daraus hergeleitet haben, daß wir die veränderlichen Kräfte wenigstens während eines Augenblicks wie unveränderlich ansahen.

Die allgemeinen Eigenschaften aller Kräfte P, oder der Zusammenhang der zwischen den Kräften und ihrer Wirkung, der Bewegung, statt findet, bestehn also in den wenigen Gleichungen die wir eben gefunden haben:

1) $\sigma = u\tau$ oder $u = \frac{\sigma}{\tau}$, 2) $\varkappa = P\tau$, 3) $\sigma' - \sigma = P\tau\tau$,

und diese Gleichungen in Worte übersetzt, enthalten folgende wichtige Wahrheiten, auf denen alle mechanische Wissenschaften beruhen.

1) Wenn Kräfte auf einen Körper wirken, sie mögen veränderlich seyn oder nicht, so findet man in jedem Punkt seiner Bahn, den kleinen Raum σ den er in einem Augenblick durchläuft, wenn man die Geschwindigkeit u die er in diesem Augenblick hat, mit der Dauer desselben τ multiplizirt, so wie man die Geschwindigkeit findet, wenn man jene kleine Linie durch diese kleine Zeit dividirt.

2) Die kleine Geschwindigkeit $\varkappa$, die die Kraft dem Körper in jedem Augenblick mittheilt, ist der Dauer dieses Augenblicks τ und der Stärke die die Kraft P in diesem Augenblick hat, proportional, so daß die doppelte Kraft in jedem Augenblick eine zweymal so große Geschwindigkeit mittheilt, als die einfache.

3) Der Unterschied der beyden kleinen Linien σ, σ', die in zwey auf einander folgenden Augenblicken durchlaufen werden, verhält sich wie die Kraft P und das Qvadrat der Dauer τ, so daß, wenn τ von gleicher Größe angenommen wird, dieser Unterschied, der selbst eine unendlich kleine Linie ist, die Stärke der Kraft ausdrückt, mithin zum Maaß derselben dienen kann. Man stelle sich vor, daß die Kraft plötzlich zu wirken aufhört, so wird dennoch der Körper, kraft der Trägheit, mit der eben erlangten Geschwindigkeit seinen Weg fortsetzen: er wird also ebenfalls die Linie σ, nicht allein im ersten, sondern in jedem folgenden Augenblick τ durchlaufen. Wenn aber die Kraft zu wirken fortfährt, so wird er zwar

im erſten Augenblick den Raum σ, im folgenden aber σ' durchlaufen: und hieraus folgt, daß der Unterſchied $\sigma' - \sigma$ die unmittelbare Wirkung der Kraft P, oder derjenige Raum iſt, durch den die Kraft allein den Körper in einem Augenblick τ treibt, abgeſondert von demjenigen, durch den ihn die Trägheit führt.

So iſt (§. 90. Fig. 25.) PQ die Linie σ, die der Körper im Augenblick τ mit der Geſchwindigkeit durchläuft, die ihm die Kraft in P und ſeine bisherige Bewegung mitgetheilt hatte, und $QR = PQ$ die nämliche Linie σ, die er im zweyten Augenblick τ bloß vermöge der Trägheit durchlaufen würde, wenn die Kraft zu wirken aufhörte; da ſie aber fort wirkt, ſo durchläuft er QV, welches aus QR und RV zuſammen geſetzt iſt: da nun QR die Wirkung der Trägheit iſt, ſo iſt RV die Wirkung der Kraft, oder der Raum durch den der Körper von der Kraft allein getrieben wird, der, wie wir geſehn haben, der Kraft P proportional, alſo ihr Maaß iſt. Wenn eine andre Kraft Q ſo auf ihn wirkte, daß in eben dem Augenblick τ, worin der Körper PQ durchlaufen hat, ſeine Bahn ſich von Q nach W krümmte, und $VW = RV$ oder $RW = 2RV$ iſt, ſo iſt RW das Maaß der Kraft Q, alſo Q zweymal ſo groß als P.

§. 94. Ehr wir dieſe Lehrſätze auf die Bewegung der Weltkörper anwenden können, iſt es nothwendig, an einige der bekannteſten Eigenſchaften des Kreiſes zu erinnern. Lehnſätze.

1) Wenn man in einem Kreiſe deſſen Halbmeſſer $CA = CB = a$ iſt (27. Fig.), ein Dreyeck ADB zeichnet, deſſen eine Seite dieſes Kreiſes Durchmeſſer AB iſt, der gegenüber ſtehende Winkel D aber im Umfange des Kreiſes liegt, ſo iſt dieſer Winkel beſtändig ein rechter: mit andern Worten, jeder Winkel in der Kreis-Peripherie, deſſen Schenkel auf dem Durchmeſſer ruhen, iſt von 90°. Da nämlich jeder Winkel an der Peripherie halb ſo groß iſt, als ein Winkel am Mittelpunkt, der denſelben Bogen einſchließt 27. Fig.

(Th. §. 126. n. 1.), so wird ein Winkel an der Peripherie ADB der auf dem Bogen AEB ruht, so groß seyn, wie ein Winkel am Mittelpunkt ACE der auf dem halben Bogen AE steht. In unserm Fall ist AEB ein Halbkreis, weil AB der Durchmesser ist; also ist die Hälfte AE ein Quadrant, folglich ACE ein rechter Winkel, so wie der ihm gleiche ADB.

2) Wenn man aus der Spitze des rechten Winkels D
28. Fig. (28. Fig.) auf den Durchmesser oder die Hypothenuse AB, DE senkrecht herab fallen läst, so sind die drey Winkel im Dreyeck DEA so groß wie im Dreyeck BED: denn DEA und BED sind rechte Winkel, also gleich, EDA ist 90°— EDB, weil ADB ein rechter Winkel ist, und EBD ist 90°—EDB, weil BED ein rechter ist (Sph. §. 15. n. 7.); also sind auch EDA und EBD gleich, folglich auch EAD und EDB. Hieraus folgt die Aehnlichkeit der Dreyecke (Th. §. 25. n. 3.), nämlich AE: ED=ED: EB oder ED.ED=AE.EB. Wenn nun AD ein äußerst kleiner Bogen, also auch AE sehr klein ist, so daß E fast mit A zusammen fällt, so kann man AB=2a statt EB setzen, und es wird ED.ED=2a.AE.

Fall der Planeten zur Sonne.

§. 95. Das dritte Keplersche Gesetz (Th. §. 140.) vergleicht die mittlern Bewegungen und Entfernungen der Planeten mit einander, so wie ihre wahren durch die andern beyden Gesetze bestimmt werden. Bey der Anwendung jenes Gesetzes darf man also für jede Planeten-Bahn einen Kreis annehmen, der in derselben Zeit wie die Ellipse des Planeten mit gleichförmiger Geschwindigkeit durchlaufen wird, und dieselbe mittlere Entfernung von der Sonne, d. h. die große Axe der Ellipse zum Durchmesser hat (Th. §. 141.). Wenn nun
29. Fig. (29. Fig.) Pp der Kreisbogen ist, den ein Planet in 1 Sekunde um die Sonne S beschreibt, so wird der Winkel PSp=α desto kleiner seyn, je langsamer die Bewegung, also je größer die Umlaufszeit E ist: α verhält sich also umge-

kehrt wie E, oder $\alpha = \frac{m}{E}$, wo m irgend einen beſtändigen Winkel der zur Einheit angenommen iſt, bedeutet. Der Bogen Pp der zu dieſem kleinen Winkel gehört, alſo auch ſeine Sehne und halbe Sehne $p\pi = s$ iſt erſtlich in eben dem Verhältniß größer oder kleiner, wie der Winkel α, und dann auch wie der Kreis Pp an ſich, oder wie ſein Halbmeſſer $SP = A$: es verhält ſich alſo die halbe Sehne wie das Produkt des Winkels in ſeinen Halbmeſſer, d. h. $s = \alpha . A = \frac{mA}{E}$, mithin $ss = \frac{mmAA}{EE}$, und $\frac{ss}{A} = \frac{mmA}{EE}$. Nun iſt $ss = 2A . P\pi$ (§. 94. n. 2.), oder $2P\pi = \frac{ss}{A} = \frac{mmA}{EE}$. Für einen andern Planeten, deſſen Umlaufszeit $= F$, Entfernung von der Sonne $ST = B$ iſt, und der in 1 Sekunde den Bogen Tt durchläuft, findet man alſo auf eben die Art $2T\tau = \frac{mmB}{FF}$; es verhält ſich demnach $P\pi$ zu $T\tau$ wie $\frac{A}{EE}$ zu $\frac{B}{FF}$. Nach dem dritten Keplerſchen Geſetz aber verhalten ſich die Quadrate der Umlaufszeiten, EE, FF, wie die Kubikzahlen der Entfernungen, AAA, BBB, ſo daß man hier, wo es bloß auf Verhältniſſe ankömmt, AAA ſtatt EE, und BBB ſtatt FF ſetzen kann, da dann jenes Verhältniß wird, $P\pi : T\tau = \frac{A}{AAA} : \frac{B}{BBB} = \frac{1}{AA} : \frac{1}{BB}$, oder $P\pi : T\tau = BB : AA$. In Worte überſetzt, heiſt dies: die kleinen Linien $P\pi$, $T\tau$, um welche ſich zwey Planeten P, T, der Sonne in derſelben unendlich kleinen Zeit nähern, oder wie man es nennt, der Fall der Planeten zur Sonne verhält ſich umgekehrt wie die Quadratzahlen ihrer Entfernungen von der Sonne, SP, ST.

Geſetz der Zentralkraft der Sonne.

§. 96. Indem die Planeten die Bogen Pp, Tt, zu durchlaufen anfangen, haben ſie die Richtung der Tangenten PQ, TV, die ſie vermöge der Trägheit auch wirklich durchlaufen würden, wenn ſie nicht durch die Kraft der Sonne nach $P\pi$, $T\tau$, gezogen würden: ihre wahre Bewegung iſt

daher die mittlere, die aus jenen beyden Seiten-Kräften entsteht, nämlich die Bogen Pp, Tt. Es sind also Pπ, Tτ, die kleinen Linien die, weil hier die Zeiten gleich angenommen sind, zum Maaß oder zur Vergleichung den Zentralkräfte der Sonne dienen, welche auf beyde Planeten wirken (§. 93.). Die absolute Kraft der Sonne ist also zwar immer die nämliche, aber die beschleunigende (§. 86.) in verschiedenen Entfernungen SP, ST, verhält sich wie die Linien Pπ, Tτ, folglich verkehrt wie die Qvadrate der Entfernungen (§. 95.), ST.ST und SP.SP: sie ist z. B. in der doppelten oder dreyfachen Entfernung 4 mal oder 9 mal schwächer; sie wirkt auf den Uranus, der 19 mal entfernter von der Sonne ist als unsre Erde, 19 mal 19 oder 361 mal schwächer, und auf den Merkur, der der Sonne drittehalbmal näher ist als die Erde, 6 bis 7 mal stärker, als auf die Erde, und fast 2500 mal stärker als auf den Uranus. In eben dem Verhältniß stehen die Linien Pπ, Tτ, durch welche die Planeten in jedem Augenblick zur Sonne herab gezogen werden, und wirklich herab fallen würden, wenn sie nicht durch die Bewegung nach der Tangente zurück gehalten würden. Dieses Gesetz, daß die Attraktion oder Zentral-Kraft der Sonne im verkehrten Verhältniß der Qvadrate der Entfernungen wirkt oder beschleunigt, ist die große Entdeckung die Newton durch das dritte Keplersche Gesetz machte, so wie er das Daseyn dieser Kraft durch das zweyte Gesetz entdeckt hatte (§. 90.).

Wurfs-Geschwindigkeit.

§. 97. Die wahre Bewegung der Planeten ist gekrümmt und ungleichförmig, d. h. sie ändern unaufhörlich ihre Richtung und Geschwindigkeit; und dies setzt voraus, daß sie in jedem Augenblick eine bestimmte Richtung und Geschwindigkeit haben, weil man sonst nicht sagen könnte, daß sie sie ändern. Diese Richtung ist in jedem Punkt P der Planetenbahn (29. Fig.) mit der Tangente PQ der krummen Linie einerley, und der Planet würde vermöge der bloßen Trägheit (§. 83.)

ewig dieser Tangente folgen, und sich so bis ins unendliche von der Sonne S entfernen, wenn er nicht zugleich durch ihre Attraktion nach P π gezogen, und dadurch genötigt würde, die zwischen beyden liegende Linie Pp zu beschreiben. Von der andern Seite würde der Planet, wenn er in P bloß von der Sonne angezogen würde, längs PS gerade auf sie zu laufen, bis er mit ihr zusammen fiele, wofern nicht eine Kraft oder eine ihm mitgetheilte Bewegung nach der Tangente PQ ihn daran hinderte. Die Kraft nach dem Zentralkörper S muß eine wirkliche ununterbrochen wirkende Kraft seyn, weil sie z. B. in P (25. Fig.) die Richtung PS, in V die Richtung VS hat. Die Bewegung nach der Tangente aber, obgleich sie auch beständig ihre Richtung ändert, erfodert keine eigene Kraft, weil der Planet die einmal erhaltene Bewegung vermöge der Trägheit ewig beybehält, und die Aendrung ihrer Richtung aus der Bewegung von selbst entsteht. Wenn P der Punkt ist, in dem der Planet seine Bewegung anfängt, oder in dem er sich im Anfang seines Daseyns befand, so würde er, von der Sonne S angezogen, unaufhaltsam zu ihr stürzen, wenn er nicht zugleich in diesem ersten Augenblick seines Daseyns, durch irgend einen Stoß oder Wurf, eine Geschwindigkeit nach der Seite Pp erhalten hätte, die wir die Wurfs-Geschwindigkeit nennen wollen. Nun entsteht aus beyden Geschwindigkeiten nach PS und Pp, zufolge der Zusammensetzung der Kräfte (§. 79.), eine mittlere Bewegung nach PQ; und ohne daß der Planet eine neue Wurfs-Geschwindigkeit erhält, würde er nun kraft der bloßen Trägheit, mit der Geschwindigkeit PQ die er durch die Bewegung selbst erhalten hat, nach QR fort laufen, wenn er nicht von der Sonne nach QS gezogen würde. Aus beyden Geschwindigkeiten nach QR und QS entsteht wider die mittlere Bewegung QV, wodurch seine Richtung geändert wird; und vermöge der Trägheit würde er nun in der neuen Richtung QV nach VX fort laufen, wenn er nicht durch die Attraktion der

Sonne nach V S gezwungen würde, der zwischen beyden fallenden Bewegung V Y zu folgen. Das nämliche findet in jedem folgenden Augenblick statt, und so sieht man, daß jener erste Impuls nach der Seite, verbunden mit der Zentralkraft der Sonne, vollkommen hinlänglich ist, den Planeten ewig in der Linie P Q V Y um die Sonne herum zu führen, und daß aus dieser gebrochenen Linie eine krumme Linie wie die Ellipse wird, wenn man sich erinnert, daß die Zentralkraft der Sonne nicht, wie es in der Figur angenommen ist, stoßweise, etwa von Sekunde zu Sekunde, sondern ununterbrochen wirkt, weil nun der Planet seine Richtung nicht etwa mit jeder Sekunde, sondern unaufhörlich ändert, und eine krumme Linie nichts anders ist, als eine solche die ihre Richtung in jedem Punkt ändert, oder die aus unzähligen, unendlich kleinen, unter gewissen Winkeln gegen einander geneigten, geraden Linien P Q, Q V, V Y, ꝛc. zusammen gesetzt ist. Allein dieser erste Stoß war auch unumgänglich nöthig, damit die Planeten nicht in die Sonne fielen, und alles in ein Chaos zusammen stürzte.

Die Bewegung der Planeten um die Sonne ist also vollkommen erklärt, wenn man annimt, daß ihnen bey ihrem ersten Ursprung irgend eine Geschwindigkeit nach der Seite, und zwar in Beziehung auf die Sonne nach der linken Seite (der gemeinschaftlichen Richtung ihrer Bewegung), mitgetheilt ist; aber auch nur durch einen solchen ursprünglichen Stoß läst sich ihr ewiger Reihentanz erklären. Indeß muß man die erhabene Idee die hierin liegt, nicht verkörpern; man muß nicht vergessen, daß Stoß oder Wurf nur eine Brücke ist, die unser Verstand erbaut, um sich dadurch die Mittheilung der Geschwindigkeit begreiflich zu machen. Der Wille desjenigen der den Planeten ihr Daseyn gab, war dazu hinlänglich, ohne daß noch ein physischer Stoß vorher gehn muste. Der Urheber der Natur konnte den Saturn im Wirkungskreise des Sirius, oder in unserm Sonnen-System aus nichts hervor treten lassen, er konnte ihn näher als Merkur, oder weiter als

Uranus von der Sonne hin werfen; allein irgend einen Ort und irgend eine bestimmte Entfernung von der Sonne muste Saturn haben, wenn er überhaupt das Daseyn erhalten solte. Der Almächtige konnte ihn an der Stelle seiner Geburt ruhig nieder legen, oder ihm zugleich eine gewisse Geschwindigkeit mittheilen: der eine Zustand ist so natürlich als der andre, aber in einem von beyden muste er sein Daseyn anfangen (§. 83.); im erstern würde dieses Daseyn von kurzer Dauer gewesen seyn, weil der Planet in die Sonne gestürzt wäre; im andern ward er zu ewiger Dauer geheiligt. Wir wissen also, daß alle Planeten die um die Sonne laufen, im Zustande einer Bewegung nach der linken Seite aus dem Nichts hervor gerufen sind, oder ihre Existenz angefangen haben. Dies ist eine von den Thatsachen, über welche Physik und Mechanik nichts entscheiden, weil sie unter vielen gleich möglichen willkührlich ausgewählt sind, und von deren Wahrheit uns nur die Erfahrung belehren kann.

bestimmt die verschiedenen Arten der Bahnen.

§. 98. Obgleich nun auf diese Art die Bewegung der Planeten um die Sonne im ganzen sehr einfach erklärt wird, so werden dem Leser bey genauerer Betrachtung doch noch manche Bedenklichkeiten aufsteigen. Man sieht die Möglichkeit, daß die Wurfs-Geschwindigkeit PQ (29. Fig.) und die Zentralkraft PS so mit einander kombinirt seyn, sich so gegen einander verhalten können, daß daraus eine krumme Linie Pp entsteht, die in sich selbst zusammen läuft, so daß der Planet ewig dieselbe Bahn um die Sonne beschreibt, sey es nun eine Ellipse oder ein Kreis; aber es scheint zugleich, daß, wenn dieses Verhältniß im geringsten geändert wird, auch der Erfolg ganz anders seyn müsse, daß also, da die Wurfs-Geschwindigkeit eine ganz willkührliche Größe ist, zu erwarten sey, daß gegen eine elliptische Planetenbahn sich unzählige andre Bewegungen am Himmel finden werden, und daß kein Grund sey, warum nicht die Planeten, statt ihre unveränderlichen Kreisbahnen um die Sonne zu beschreiben, sich auf im-

mer von ihr entfernen, oder in sie herab stürzen. Wenn aus PQ und PS der elliptische Bogen Pp entsteht, so scheint es offenbar, daß, wenn in demselben Punkt P die Wurfs-Geschwindigkeit größer als PQ oder mehr auswärts gerichtet gewesen wäre, die Bahn zwischen Pp und PQ gefallen seyn, folglich der Planet keine Ellipse beschrieben, sondern sich von der Sonne weiter entfernt haben würde, wodurch dann die Zentralkraft immer kleiner im Verhältniß zur Wurfs-Geschwindigkeit geworden seyn, also der Planet sich immer mehr und mehr von der Sonne entfernt haben würde. Von der andern Seite scheint es, daß bey einer geringeren Stärke der Wurfs-Geschwindigkeit PQ, oder bey einer größern Neigung nach innen, der Planet stärker von der Sonne angezogen werden muß, als zur Ellipse Pp erfodert wird, daß er sich folglich der Sonne immer mehr nähern, und endlich mit ihr zusammen fallen müß.

Die natürlichste Antwort hierauf scheint diese. Gesetzt, es gebe nur eine einzige Wurfs-Geschwindigkeit PQ, bey der die elliptische Bewegung möglich ist, darf man sich dann wundern, daß der Urheber der Natur gerade diese wählte, bey der sein Werk ewiger Dauer fähig ward, und sie allen übrigen vorzog, bey denen das Ganze entweder in Staub zerfliegen, oder in ein Chaos zusammen stürzen würde? Ohne indessen den Knoten auf diese Art zu zerhauen, muß man bedenken, daß, wenn bey einem andern Verhältniß zwischen PQ und PS ein andrer Bogen als Pp beschrieben wird, daraus gar nicht folgt, daß die Bahn nicht elliptisch sey: es lassen sich durch P unzählige Ellipsen um den Brennpunkt S legen, es kann sogar bey einem Planeten oder bey einer Wurfs-Geschwindigkeit, P die Sonnenferne, bey einer andern die Sonnennähe werden, bey einer dritten, vierten, ꝛc. irgend ein andrer Punkt der Ellipse; so daß der Planet nur eine andre Ellipse beschreibt, und die Art seiner individuellen Ellipse, ihre Ekzentrizität, ꝛc. durch die Wurfs-Geschwindigkeit bestimmt

wird. Indeß hat es allerdings seine Richtigkeit, daß eben so wol Wurfs-Geschwindigkeiten möglich sind, durch die der Planet sich auf immer von der Sonne entfernt, als solche, die ihn nöthigen eine Ellipse zu beschreiben; und es ist daher nicht unwahrscheinlich, daß es wirklich eben so viele Kometen gebe, die sich nur einmal der Sonne nähern, als solche die ihren ekzentrischen Lauf um sie ewig verrichten. Nur eine solche Wurfs-Geschwindigkeit ist nicht möglich, die den Kometen in die Sonne stürzen könnte, weil er in jedem Fall einen der drey oder vier Kegelschnitte um die Sonne beschreiben muß. Dies führt uns auf eine andre Frage, nämlich ob die Planeten bey jedem Wurf den Keplerschen Gesetzen gehorchen müssen, oder ob diese Gesetze eine weitere Ausdehnung erfodern.

Bestimmung der Bahn durch das Gesetz der Zentralkraft, 30. Fig.

§. 99. Um sich einen deutlichen Begrif zu machen, wie die Bewegung durch die Attraktion der Sonne S (30. Fig.) regulirt wird, stelle man sich vor, daß der Planet in A eine Geschwindigkeit nach A T habe, die auf A S senkrecht ist, und genau die Größe hat, daß der Planet vermöge derselben und der Attraktion der Sonne A S, im ersten Augenblick seiner Bewegung einen Kreisbogen A B um den Mittelpunkt S beschreibt, so daß auch S B wie S A ein Halbmesser dieses Kreises ist, folglich beyde einander gleich und auf dem Bogen A B senkrecht sind. In diesem Fall ist es offenbar, daß die ganze Bahn des Planeten ein Kreis seyn werde, in dessen Mittelpunkt S die Sonne steht, auf welche Art oder nach welchem Gesetz auch immer die Zentralkraft der Sonne von der Entfernung S B abhängen mag. Denn da diese Entfernung sich von A bis B nicht geändert hat (S A = S B), so ist es völlig gleichgültig, wie die Attraktion der Sonne sich geändert haben würde, wenn die Entfernung geändert wäre; und der Planet befindet sich in B vollkommen in derselben Lage gegen die Sonne wie in A, beschreibt also auch denselben Bogen B b, und so ist es im zweyten, dritten, ꝛc. Augenblick: er wird al-

so dieselbe Bewegung im Kreise, die er im ersten Augenblick in A hatte, beständig fortsetzen. — Hat er aber in A eine grösre Geschwindigkeit nach AT, so wird die aus AT und AS entstehende mittlere Bewegung AE der Tangente AT näher fallen als AB, sich also mehr von S entfernen, so daß SE gröſser als SA ist. Nun ist es nicht mehr gleichgültig, wie die Zentralkraft von der Entfernung abhängt, und der Planet beschreibt keinen Kreis: denn da die Entfernung SE sich geändert hat, so sind die Umstände nicht mehr die nämlichen, die Attraktion der Sonne wird in E anders wirken als in A, der Bogen Ee muß also von AE verschieden seyn, und die Bahn immer mehr vom Kreise abweichen. — Wenn hingegen die Geschwindigkeit AT kleiner ist, als die zum Kreise AB erfodert wird, so überwiegt die Zentralkraft, und die aus beyden entstehende mittlere Bewegung AD fällt näher nach S, so daß SD kleiner als SA ist: mithin wirkt in D die Attraktion der Sonne in der geringern Entfernung anders als in A, der Bogen Dd und jeder folgende kömmt nicht mit dem ersten AD überein, und die Bahn weicht vom Kreise ab. Wie viel oder wie wenig sie davon abweicht, das hängt natürlich von dem gröſsern oder geringeren Grade ab, in dem sich die Zentralkraft in den verschiedenen Entfernungen SA, SD, ändert, d. h. von dem Gesetz, nach welchem die Zentralkraft von der Entfernung abhängt. Da nun dieses Gesetz bekannt ist (§. 96.), so kann man daraus vermittelst der Fundamental-Gleichungen für alle Bewegungen (§. 93.) berechnen, auf welche Art die Bahnen vom Kreise abweichen, oder was für krumme Linien sie sind. Diese Rechnung setzt aber, wie man leicht sieht, nicht allein die allgemeine Theorie aller krummen Linien, oder die ganze höhere Geometrie als bekannt voraus, sondern auch, weil die in jenen Fundamental-Gleichungen vorkommenden Gröſsen σ, τ, $\varkappa$, (§. 93.) unendlich klein angenommen sind, die Rechnung des Unendlichen. Man begreift also leicht, daß wir uns hier mit den Resultaten be-

gnügen müssen. Aus dem zweyten Keplerschen Gesetz ist geometrisch bewiesen, daß die Planeten von einer Kraft getrieben werden, die beständig nach dem Mittelpunkt der Sonne gerichtet ist (§. 90.), und aus dem dritten, daß die Beschleunigung dieser Zentralkraft sich im verkehrten Verhältniß der Qvadrate der Entfernungen ändert (§. 96.). Da also dieses Natur-Gesetz durch die Erfahrung bewiesen ist, so wollen wir nun sehen, was für allgemeine Gesetze für die Bewegung der Planeten daraus folgen.

§. 100. Diese Gesetze bestehen vornehmlich in folgenden Sätzen. und durch die Wurfs-Geschwindigkeit.

1) Die Geschwindigkeit A T (30. Fig.) womit der Planet seine Bewegung anfängt, bestimmt die Natur seiner Bahn so wesentlich, daß es wirklich von der größern oder geringeren Stärke derselben, so wie von ihrer Richtung abhängt, ob der Planet eine zusammen laufende Linie beschreibt, so daß er in bestimmten Perioden Umläufe um die Sonne macht, ohne sie je zu verlassen, oder ob er sich bis ins unendliche von ihr entfernt, ohne je zu ihr zurück zu kehren. Indessen ist die Bewegung des Planeten dennoch in jedem Fall und unter allen möglichen Umständen, weit entfernt dem Zufall überlassen zu seyn, von der Natur genau vorgeschrieben; und es folgt aus dem Gesetz der Zentralkraft der Sonne (§. 96.) folgendes wichtige Grund-Gesetz der planetarischen Bewegungen: mit welcher Geschwindigkeit, oder nach welcher Richtung A T auch immer der Planet im Anfange seiner Bewegung fort geschleudert seyn mag, so kann er doch keine andre Linie als einen Kegelschnitt beschreiben, der aber nach Maasgabe der ursprünglichen Bewegung A T, entweder eine Hyperbel A E, oder Parabel A B, oder Ellipse A D, oder auch ein Kreis seyn kann (Th. §. 151.). Nur in den letztern zwey Fällen wird die Bahn planetarisch oder eine geschlossene Linie, in den ersten zwey Fällen aber entfernt sie sich unaufhörlich von der Sonne. Um desto deutlicher zu übersehen, unter welchen Um-

ständen jeder dieser Fälle eintreten müsse, wollen wir ein für allemal annehmen, daß der ursprüngliche Stoß AT, den der Planet im Anfange seiner Bewegung erhalten hat (§. 97.), auf der Linie zur Sonne AS senkrecht gewesen sey, weil sich auch der schiefe Stoß, durch die Zerlegung der Kräfte (§. 80.) auf den senkrechten zurück bringen läst.

2) Die Stärke einer Kraft wird gemessen oder mit andern Kräften verglichen, durch die Geschwindigkeit die sie dem Körper mittheilt (§. 82.), und diese Geschwindigkeit wird ausgedrückt durch den Raum den der Körper damit in 1 Sekunde durchläuft (§. 92.). Um also die Zentralkraft der Sonne S, die von der Entfernung des Planeten AS abhängt, mit seiner Wurfs-Geschwindigkeit nach AT vergleichen zu können, muß man so wol den Raum At kennen, den er in 1 Sekunde mit dieser Geschwindigkeit durchlaufen würde, als den Raum Aa durch den er vermöge der Attraktion der Sonne allein sich ihr in 1 Sekunde nähern würde, oder seinen Fall zur Sonne: wir wollen Aa = n, At = c, AS = p setzen, wo also n, c, p, gerade Linien sind. Wenn nun die Wurfs-Geschwindigkeit c genau von der Größe ist, daß ihr Qvadrat dem doppelten Produkt np gleich ist, oder cc = 2np, so beschreibt der Planet einen Kreis, dessen Mittelpunkt S die Sonne einnimt, und zwar mit gleichförmiger Bewegung: denn nach dem zweyten Keplerschen Gesetz beschreibt er in gleichen Zeiten gleiche Sektoren um die Sonne, gleiche Kreis-Sektoren aber gehören zu gleichen Winkeln am Mittelpunkt.

3) Wenn das Qvadrat der Geschwindigkeit c genau zweymal so groß ist als in 2), also cc = 4np, so wird die Bahn eine Parabel, in deren Brennpunkt S die Sonne sich befindet, und der Punkt A ist der Scheitel der Parabel oder die Sonnennähe.

4) Ist das Qvadrat der Geschwindigkeit noch größer, oder cc größer als 4np, so wird die Bahn eine Hyperbel, deren nächsten Brennpunkt S die Sonne einnimt, und auch hier

ist A der Scheitel oder die Sonnennähe. In diesen beyden Fällen also entfernt sich der Planet immer weiter von der Sonne, ohne je zu ihr zurück zu kehren oder einen Umlauf zu machen.

5) Wenn aber das Qvadrat der Geschwindigkeit cc kleiner als $4np$ ist, so beschreibt der Planet eine Ellipse, in deren Brennpunkt S die Sonne sich befindet, und A ist einer der beyden Scheitel der Ellipse, also entweder die Sonnennähe oder Sonnenferne. Die Kreis-Bewegung (n. 2.) ist nur ein besondrer Fall hievon, so wie in der That der Kreis eine der unzähligen möglichen Ellipsen ist: denn wenn $cc = 2np$ ist, so ist es allerdings auch kleiner als $4np$.

6) Ist die Wurfs-Geschwindigkeit von der Art, daß die Bahn eine Ellipse wird ($cc < 4np$), so sind drey Fälle möglich: entweder ist cc größer oder kleiner als $2np$, oder genau so groß. Im ersten Fall ist die Geschwindigkeit At größer als die zum Kreise erfodert wird: der Planet wird sich also von der Sonne entfernen, mithin ist A die Sonnennähe der Bahn. Im zweyten Fall ist die Wurfs-Geschwindigkeit kleiner, die Attraktion also im Verhältniß zu ihr stärker, und der Planet muß sich der Sonne nähern, folglich wird A die Sonnenferne. Der dritte Fall liegt zwischen beyden in der Mitte, die Bahn wird ein Kreis (n. 2.), und A ist weder Perihelium noch Aphelium, wie es der Natur des Kreises gemäß ist.

§. 101. Zwischen den Größen $2np$ und $4np$, d. h. zwischen dem Kreise DE oder FF′ und der Parabel FH (Th. §. 151. Fig. 40.), liegen also unzählige Ellipsen FG, in denen allen der Punkt, wo der Planet seinen ersten Stoß erhielt, die Sonnennähe wird. Je größer die Wurfs-Geschwindigkeit c ist, desto mehr nähert sich die Ellipse der Parabel, oder desto länglichter und ekzentrischer wird sie, bis endlich $cc = 4np$ wird, da dann die Ellipse eine unendlich große Ekzentrizität erhält, oder sich in die Parabel verwandelt.

Möglichkeit der verschiedenen Kegelschnitte.

Allein, so wie wir hier den Kreis **DE** um **D** abwärts nach der Parabel hin drehten, so kann **DE** auch oberwärts von **E** nach **C** gedreht werden; und dies gibt ebenfalls unzählige Ellipsen, wo cc kleiner als $2np$ ist. In diesen allen wird der Punkt, von dem der Planet ausläuft, die Sonnenferne; und je kleiner die Geschwindigkeit ist, desto mehr entfernt sich die Ellipse vom Kreise, oder desto ekzentrischer wird sie, bis sie endlich mit **DC** zusammen fällt, oder die Ellipse zur geraden Linie **DC** wird: wenn nämlich $c = o$ ist, oder der Planet gar keine Wurfs-Geschwindigkeit erhalten hat, so muß er in gerader Linie zur Sonne fallen (§. 97.).

Zum Kreise und der Parabel wird eine ganz bestimmte Geschwindigkeit erfodert, $cc = 2np$ oder $cc = 4np$ (§. 100. n. 2. 3.): es ist also nur ein einziger Fall möglich, in dem diese Bahnen entstehn können, da es hingegen unzählige Fälle gibt, in denen die Bahnen Ellipsen oder Hyperbeln werden, nämlich cc kleiner oder größer als $4np$. Da beyderley Fälle gleich möglich sind, so ist die Wahrscheinlichkeit unendlich groß, daß es keine Weltkörper gibt, die in Kreisen oder Parabeln laufen, daß vielmehr alle entweder Ellipsen oder Hyperbeln beschreiben. Von diesen letztern beyden kann also auch nur in der Astronomie die Rede seyn, und die erstern werden nur zur Erleichtrung der Rechnung gebraucht, wie Ptolemäus den ekzentrischen Kreis auf die Planeten, und Newton die Parabel auf die Kometen anwandte. Der Unterschied der Ellipsen und Hyperbeln besteht darin, daß zu jenen die geringste, zu diesen die gröste Wurfs-Geschwindigkeit erfodert wird, und daß bey jenen wahre Umläufe um einen Zentralkörper, also eigentliche Systeme die ein Ganzes bilden, statt finden, bey diesen aber nicht. Beyde Gründe machen es wahrscheinlich, daß die Natur den Ellipsen den Vorzug vor den Hyperbeln gegeben habe; wenigstens sind wir gewiß, daß die Bahnen aller Körper die wirkliche Umläufe machen, Ellipsen sind; und die Hyperbel ist kein Gegenstand für die

Astronomie, weil bey solcher Bahn keine Rückkehr zur Sonne, also auch keine Berechnung statt findet.

Die Keplerschen Gesetze werden demnach, durch die Grundsätze der Physik, auf folgende Art modifizirt. 1) Alle Planeten und Kometen beschreiben um die Sonne, nicht gerade Ellipsen, aber nothwendig Kegelschnitte, und zwar entweder Ellipsen oder Hyperbeln, weil diese unendlich wahrscheinlicher sind, als der Kreis und die Parabel. Die besondre Art des Kegelschnitts hängt von der Entfernung von der Sonne und der Geschwindigkeit ab, die der Planet im ersten Augenblick seines Daseyns hatte. 2) Bey allen Kegelschnitten findet das zweyte Keplersche Gesetz statt, daß die Sektoren um die Sonne der Zeit proportional sind. 3) Das dritte Keplersche Gesetz findet bey allen Kreisen und elliptischen Planeten-Bahnen statt, aber nicht bey der Hyperbel oder Parabel, weil sich bey ihnen kein Umlauf, also auch keine Vergleichung der Umlaufszeiten denken läst.

Nothwendigkeit des Gesetzes der Attraktion der Sonne.

§. 102. Alle diese Gesetze der himmlischen Bewegungen sind eine nothwendige Folge davon, daß die Beschleunigung der Zentralkraft der Sonne sich im verkehrten Verhältniß der Qvadrate der Entfernungen ändert (§. 96.); und es würde unstreitig eine äußerst interessante Entdeckung seyn, den Grund ausfindig zu machen, warum die Natur gerade dieses und kein andres Verhältniß angenommen hat. Wenn man gleich fühlt, daß die Einheit der Natur, und die Vereinigung aller Theile zu einem Ganzen, nothwendig erfodert, daß von allen möglichen Verhältnissen irgend eines die Sanktion eines allgemeinen Natur-Gesetzes erhalten habe, und daß wir zufrieden seyn müssen, wenn uns die Beobachtungen lehren, welches Verhältniß es sey; so ist doch der Gedanke eben so natürlich, daß dieses Lieblings-Verhältniß der Natur vor allen übrigen große Vorzüge haben müsse, und daß vielleicht nur dadurch allein ein Werk, seines großen Urhebers würdig, entstehn und fortdauern konnte. Eine Zentralkraft, eine Anziehung der

Sonne, können wir uns, so grob diese Vorstellung scheint, nicht wol anders denken, als wie ein Gewebe unzähliger Fäden, die gleich Stralen oder Halbmessern einer Kugel, aus der Sonne ausgehn, sich immer weiter von einander entfernen, und alles was sie ergreifen, an sie binden. Es ist natürlich, das jedes unendlich kleine Theilchen der Masse, woraus die Körper bestehn, also auch die ganzen Körper, desto stärker zur Sonne gezogen werden, je mehr Fäden sie umschlingen, je näher sie also der Sonne sind. Das körperliche
Fig. 31. Element a b c d (31. Fig.) wird in der Entfernung S d von der Sonne S, von allen Fäden angezogen, die sich in dem Büschel S A B C D befinden, oder auf die Fläche a b c d fallen; in der Entfernung S D aber wird dasselbe Element p q r D nur von den wenigen Stralen angezogen, die auf die Fläche p q r D fallen, und deren Zahl sich zur erstern verhält, wie die Fläche p q r D oder a b c d zur Fläche A B C D. Nun ist aus den ersten Grundsätzen der Geometrie bekannt, daß diese Flächen sich verhalten wie die Quadrate der Entfernungen S d, S D, weil so wol die Länge A D der Fläche A B C D, als ihre Breite C D, so vielmahl a d und c d übertrifft, als S d in S D enthalten ist. Da sich also die Menge der anziehenden Stralen in D und d verhält wie die Flächen a c und A C, so verhält sich auch die Stärke der Attraktion, oder die Beschleunigung der Zentralkraft, wie diese Flächen, folglich verkehrt wie die Quadrate der Entfernungen. Diese sinnliche Darstellung macht es wenigstens begreiflich und sogar wahrscheinlich, daß dieses Gesetz bey allen Kräften in der Natur statt finden muß, wie es wenigstens bey denjenigen, die noch in großen Entfernungen merklich sind, nicht weniger als bey der Attraktion der Weltkörper wirklich der Fall zu seyn scheint: so lehrt es uns die Erfahrung bey dem Licht, bey der elektrischen und der magnetischen Materie, ꝛc. Es scheint also in der That, daß dieses Verhältniß ein nothwendiges, in der Natur der Sache selbst gegründetes Gesetz ist. Allein, wenn

auch andre Verhältnisse eben so möglich wären, so zeigt die mathematische Rechnung doch in dem Newtonschen Verhäl niß Vorzüge, die allein hinlänglich seyn konnten, den Urheber der Natur zu bestimmen, dieses und kein andres zur Basis des Werks seiner Hände an zu nehmen.

Vorzüge desselben

§. 103. Die Vollkommenheit dieses Werks hängt, in weit höherm Grade als die Schönheit eines Gebäudes, von den Proportionen ab, die dabey beobachtet sind. Die absolute Größe, oder der Maasstab nach dem der aus bloßen Verhältnissen berechnete Plan ausgeführt ward, ist so wilkührlich, daß eine tausendmal größere oder kleinere Welt, in der durchgängig dieselben Verhältnisse als in der jetzigen beobachtet wären, in der That von dieser gar nicht zu unterscheiden seyn würde, weil nichts außer ihr existirte, womit man sie vergleichen könnte, und die Vergleichung der Theile der Welt unter einander nur auf Verhältnisse führt. Allein, wenn wir gleich nicht in den Plan des Allmächtigen blicken dürfen, wenn wir gleich nicht einsehn, warum Jupiter gerade fünfmal weiter von der Sonne entfernt, oder über tausendmal größer als die Erde seyn muste, so begreifen wir doch wol, daß alles ganz anders, daß das Sonnen-System nicht mehr das seyn würde was es ist, und daß dieselben Absichten des Schöpfers, die bey dem jetzigen Welt-Plan zum Grunde liegen, nicht erreicht seyn würden, wenn Jupiter eine größere Masse erhalten hätte, oder der Sonne näher gerückt wäre, ohne daß alle andern Entfernungen und Größen in demselben Verhältniß geändert wären. Die Verhältnisse sind es also, worauf die Schönheit und Vollkommenheit des Universums beruht; und man begreift, daß unter allen möglichen Kombinationen von Verhältnissen nur eine einzige, die schönste unter allen, das Daseyn erhalten konnte, und daß unter allen Gesetzen die uns gleich möglich scheinen, nur dasjenige in der Natur wirklich statt haben kann, welches sich nicht auf die absoluten Größen, sondern bloß auf die Verhältnisse bezieht, bey welchem also

diese immer dieselben bleiben, wie verschieden auch die ganz wilkührlichen absoluten Größen angenommen werden mögen. Ein Gesetz, bey dem der Maasstab selbst auf die Proportionen Einfluß hat, kann kein Natur-Gesetz seyn, weil jener nichts mit der Natur der Dinge zu thun hat: ein solches Gesetz würde also wirklich einen innern Widerspruch enthalten.

Wenn man sich nun vorstellt, daß alle Linien, also alle Entfernungen und Halbmesser der Weltkörper, zweymal so groß wären als sie wirklich sind, so müsten auch die Bogen Pp (29. Fig.) die die Planeten z. B. in 1 Sekunde durchlaufen, so wie die Linien Pπ, oder ihr Fall zur Sonne, zweymal so groß seyn: denn wenn sie sich nicht in eben dem Verhältniß wie die Entfernungen S P änderten, so entständen ganz andre Proportionen, und aus den Planeten-Bahnen würden ganz andre krumme Linien. Da also die Linie Pπ das Maaß der Zentralkraft der Sonne ist, so muß auch die Beschleunigung dieser Kraft doppelt so groß seyn. Erinnert man sich nun, daß die Zentralkraft, als eine allgemeine Eigenschaft jedes Theilchens der Masse (§. 85.), desto größer seyn muß, je mehr Masse ein Körper enthält, so wird nach dem veränderten Maasstabe, die absolute Zentralkraft der Sonne 2.2.2. mal oder 8 mal so groß seyn, als sie jetzt ist, weil die Massen zwey ähnlicher Kugeln sich verhalten wie die Kubikzahlen der Halbmesser (§. 10). Zugleich aber wirkt diese Kraft in der doppelten Entfernung, weil alle Linien zweymal so groß angenommen sind: es muß also eine achtmal so große Zentralkraft in doppelter Entfernung nur zweymal so stark beschleunigen, da sie doch in gleicher Entfernung achtmal so stark wirken würde; sie muß also in der doppelten Entfernung viermal schwächer wirken als in der einfachen, d. h. sie muß sich verkehrt wie die Qvadrate der Entfernungen ändern, welches das Newtonsche Verhältniß ist. Es scheint also auch aus diesem Gesichtspunkt, daß dieses Verhältniß das einzige wahre Natur-Gesetz seyn kann, und daß in der That jedes andre Verhält-

niß, obgleich es uns eben so möglich scheint, einen innern Widerspruch enthält.

§. 104. Man wird von der innern Schönheit dieses Gesetzes noch mehr überzeugt werden, wenn man andre damit vergleicht, und die Bahnen berechnet, die die Planeten beschreiben würden, wenn ein andres Verhältniß der Zentralkräfte als das verkehrte der Qvadrate der Entfernungen statt fände. Wenn z. B. die Zentralkraft der Sonne mit der Entfernung und in demselben Verhältniß zunähme, statt ab zu nehmen, so würden alle Planeten, so verschieden auch ihre Entfernungen sind, in derselben Zeit ihre Umläufe um die Sonne machen, und ihre Bahnen würden Ellipsen seyn, in deren Mittelpunkt (nicht Brennpunkt) sich die Sonne befindet. Sie würden also ewig dieselbe Lage gegen einander behalten, und alle Bahnen würden konzentrisch seyn. Wir würden eigentlich gar keine Bewegung bemerken: das ganze Sonnensystem würde sich gleich der Sphäre bloß umdrehn, ohne jenen mäandrischen Sphärentanz, und die Abwechslung schöner Gruppen, die sich dadurch bilden: Venus würde uns ewig Morgen- oder Abend-Stern, oder so wie viele andre Planeten, die mit der Sonne in gerader Linie ständen, ganz unsichtbar seyn, und es würde eigentlich gar keine Astronomie möglich seyn. Auch könnten die Bahnen nicht so in einander geschlungen seyn, wie die der vier neuen Planeten oder der Kometen, und der Raum des Sonnensystems würde ungleich weniger Weltkörper fassen können (§. 27.). Doch es ist schon an sich nicht denkbar, daß die Kraft der Sonne in größern Entfernungen stärker wirksam sey: die Natur der Sache bringt es mit sich, daß sie sich im verkehrten Verhältniß der Entfernungen ändert. So bald man aber hiefür ein andres Verhältniß als das der Qvadrate annimt, so geht die einfache Schönheit, die wir jetzt an den Gesetzen der himmlischen Bewegungen bewundern, verloren, und selbst die Erhaltung des Ganzen wird unmöglich. Wenn z. B. die Zentralkraft der

Vergleichung mit andern.

Sonne im verkehrten Verhältniß der Kubikzahlen der Entfernungen wirkte, so würden die Planeten-Bahnen Spiral-Linien seyn, die nie zusammen laufen, sondern sich der Sonne beständig nähern: kein Umlauf würde dem vorhergehenden oder folgenden gleich seyn; und alle Planeten würden endlich in die Sonne stürzen. Bey andern Verhältnissen würden die Bahnen so verwickelt seyn, daß gar keine Berechnung derselben mehr statt fände.

Viertes Kapitel.

Gegenseitige Attraktion.

Allgemeine Attraktion.

§. 105. Solche Betrachtungen zeigen uns nicht allein den Grund, warum die Natur das Newtonsche Gesetz der Attraktion der Sonne sanktionirt hat, sie beweisen auch, daß es ein allgemeines Natur-Gesetz seyn muß, welches sich nicht bloß auf die Sonne, sondern auf alle Körper erstreckt, und bestätigen was bereits oben (§. 85.) bemerkt ist, daß es eine wesentliche Eigenschaft der Materie überhaupt ist, jeden andern Körper an zu ziehen, oder, welches auf das nämliche hinaus kömmt, sich ihm zu nähern, mit ihm zu vereinigen. Jeder Körper zieht demnach alle andern an sich, und wird von ihnen gegenseitig angezogen, mit einer Kraft die sich verkehrt wie das Qvadrat der Entfernung verhält. Diese allgemeine Attraktion, die zuerst an den Bewegungen der Planeten um die Sonne entdeckt ist, hat so viele Gründe für sich, und so viel innre Wahrscheinlichkeit, daß man schon lange vor Newton davon überzeugt war, wie wir unten sehn werden. Es ist offenbar, daß aus Körpern die keine andern wesentlichen Eigenschaften haben, als die gewöhnlich dafür angenommen werden, Ausdehnung, Undurchdringlichkeit und

Trägheit, keine Welt, keine lebende Natur entstehen konnte. Die erste macht die Körper bloß zu Gegenständen der Geometrie, die zweyte macht den Stoß und überhaupt die Mittheilung der Kräfte oder Bewegungen möglich, und die dritte erklärt die Fortdauer der Ruhe oder der Bewegung, aber nur der geradlinigen. Keine Kreis-Bewegung, keine innige Vereinigung und Vermischung der Massen, ꝛc. war möglich, wenn die Körper nicht noch andre Eigenschaften hatten. Nur leblose Massen irrten ohne Ordnung und Zweck im unendlichen Raum umher, oder lagen ohne Gefühl und Bewegung neben einander, bis die allmächtige Liebe sie belebte, und gegenseitige Zuneigung sie einander näherte. So entwand sich den kalten Fluten des Meers Venus Anadyomene, und verbreitete Leben über das todte Chaos; Blumen entsprangen unter ihren Füßen, die Horen hüpften vor ihr her, froher Scherz und jede Freude folgte ihren Schritten. Der tiefe Sinn, der in dieser lieblichen Dichtung des ersten Weltalters liegt, ist unverkennbar. Ein todtes Chaos, ein kalter Ozean wäre die Welt, wenn nicht das Band der allgemeinen gegenseitigen Attraktion die Körper, wie Venus Urania die Selen, umschlänge, Geselligkeit in die traurige Einsamkeit brächte, und die zerstückelten Theile zu einem Ganzen verbände. Ohne dieses magische Band wäre jeder Körper, jede unförmliche Masse, eine Welt für sich, abgeschnitten von aller Gemeinschaft, und selbst die nächsten Körper könnten nicht in einander wirken: das Universum wäre gleich einer Einöde, nur von einzelnen Wilden bewohnt, die ohne Trieb zur Geselligkeit, ohne Sprache, ohne irgend eine Neigung oder Empfindung als die des gröbsten Egoismus, nur dann sich zu ihrem Verderben kennen lernen, wenn der Zufall sie auf einander stößt. Aber so wie das Gefühl gegenseitiger Zuneigung, und das Bedürfniß der Geselligkeit, aus diesen Wilden eine Gesellschaft gebildeter und glücklicher Menschen macht, die einen gemeinschaftlichen Zweck anerkennen, dem sie sogar Opfer

zu bringen fähig sind: so vereinigt das Band der gegenseitigen Attraktion die entferntesten Weltkörper, macht sie zu Bürgern eines Staats, und zwingt sie, sich gegenseitige Dienste zu leisten, und zum Besten des Ganzen selbst auf eigene Kosten bey zu tragen. So reißt die Sonne die Planeten an sich, aber nur, um sie sich an ihrem Feuer erwärmen, und an ihrer Fackel erleuchten zu lassen; so strebt der Mond, sich die Erde zu unterjochen, allein der höheren Macht weichend, wird er ihr Trabant, und indem er ihre Nächte verschönert, wird er durch ihr stärkeres Licht reichlich belohnt, und genießt in ihrem Gefolge die wohlthätige Wärme der Sonne. So wie kein Staat ohne Gesetze bestehn kann, so erfodert auch die Erhaltung des Universums, die Verbindung zu einem Ganzen, und die Erreichung der Absichten des Urhebers der Natur, allgemeine physische Gesetze, von denen wir bisher nur die Attraktion nach dem Newtonschen Verhältniß kennen, die wir also um so weniger Bedenken tragen können, für ein solches allgemeines Gesetz an zu nehmen.

Beweise derselben.

§. 106. Ohne uns indessen länger bey solchen Spekulationen auf zu halten, zu denen man fast wider Willen von diesem Gegenstand hin gezogen wird, wollen wir die mathematischen Beweise durchgehn, auf denen sich diese Allgemeinheit gründet. Daß die Sonne der Sitz oder Mittelpunkt einer Zentralkraft sey, die im doppelten Verhältniß der Entfernung zwar immer schwächer wird, aber eigentlich auch in der grösten Entfernung nicht ganz aufhört, die sich wenigstens vom Merkur bis zum Uranus und viel weiter zu den fernsten Kometen erstreckt, das beweist die Bewegung der Planeten und Kometen nach den Keplerschen Gesetzen. Noch ist kein Weltkörper, der Sonne nahe genug um in ihren Wirkungskreis zu gerathen, entdeckt, der eine Ausnahme von diesen Gesetzen machte. Auch der Mond, obgleich er durch die stärkere Macht der näheren Erde gehindert wird, eine Ellipse um die Sonne zu beschreiben, fühlt doch ihren mächtigen Einfluß:

seine wahre Bahn ist daher auch nicht eine Ellipse um die Erde, sondern eine krumme Linie, die durch die Zusammensetzung der anziehenden Kräfte der Erde und der Sonne nach jenem Verhältniß entsteht; und alle Gleichungen des Monds, oder seine Abweichungen von der elliptischen Bewegung, sind aus dieser Attraktion der Sonne genau so berechnet, wie sie sich den Beobachtungen zeigen. So wie also das dritte Keplersche Gesetz der stärkste astronomische Beweis für die jährliche Bewegung der Erde ist (Th. §. 74. n. 5.), so ist die Attraktion der Sonne der stärkste physische. Die Erde die sich mitten im Wirkungskreise der Sonne befindet, muß ihrer Macht so wohl gehorchen als alle andre Planeten, und sie würde unaufhaltsam in die Sonne stürzen, wenn ihr nicht eine Wurfs-Geschwindigkeit mitgetheilt wäre, aus der, mit der Zentralkraft der Sonne verbunden, ihr jährlicher Umlauf nothwendig entsteht.

Auf eben die Art, wie die Attraktion der Sonne durch die Keplerschen Bewegungen der Planeten und Kometen bewiesen ist, folgt auch, daß jeder Planet um den sich Trabanten nach den Keplerschen Gesetzen bewegen, der Sitz einer Zentralkraft ist, die nach eben dem Verhältniß wirkt: und so ist die anziehende Kraft der Sonne, des Uranus, Saturns, Jupiters, und der Erde bewiesen. Von der Attraktion des Mondes gibt uns das Steigen und Fallen des Weltmeers täglich einen augenscheinlichen Beweis, der schon den alten Philosophen Bewundrung einflößte, und jetzt von jedem Schiffer zum Aus- und Einlaufen in die Häfen des Ozeans benutzt wird. Die gegenseitigen Wirkungen der Planeten auf einander, wodurch sie sich in ihrer elliptischen Bewegung stören, die, wie wir unten sehen werden, besonders an dem Jupiter, Saturn, Mars und der Venus, so wie an den Jupiters-Trabanten merklich sind, und die nach jener Newtonschen Theorie berechnet, aufs genaueste mit den Beobachtungen überein stimmen, setzen es außer allen Zweifel,

daß die Attraktion nach jenem Verhältniß, nicht eine der Sonne eigenthümliche Kraft, sondern allen Weltkörpern gemeinschaftlich sey. Denn da sie durch die astronomischen Beobachtungen, bey allen wo sich dergleichen anstellen lassen, bewiesen ist, da jeder Zeuge der darüber befragt werden kann, dafür, und kein einziger dagegen aussagt, so darf man wol annehmen, daß auch diejenigen Weltkörper die außer den Gränzen unsrer Beobachtungen liegen, daß alle Kometen und Trabanten, kurz daß alle Körper von der Natur mit der Kraft der Anziehung begabt sind.

Reaktion der Aktion gleich.

§. 107. Ein Körper kann nicht in einen andern wirken, ohne daß dieser mit gleicher Stärke auf ihn zurück wirkt. Dieser Satz, daß bey jeder mechanischen Wirkung, bey jeder Aktion eine Reaktion statt findet, die jener gleich und entgegen gesetzt ist, scheint so evident, daß er selbst in der Metaphysik für eines der Grundgesetze der Bewegung angenommen wird. Der Gedanke ist so natürlich, daß ein Körper dem andern keine Bewegung mittheilen kann, ohne eben so viel von der seinigen zu verlieren, als daß ein Gefäß durch ein andres nicht angefüllt werden kann, ohne daß dieses geleert wird. Der Stoß zweyer Körper gegen einander, wie der Kugeln auf einem Billard, gibt uns einen sinnlichen Beweis davon: was die eine an Geschwindigkeit oder Bewegung gewinnt, verliert die andre. Wenn man sich vorstellt, daß ein Körper **B** von zwey gleichen Kräften **P**, **Q**, nach Osten und Westen getrieben wird, so kann, wegen des Gleichgewichts der Kräfte, gar keine Bewegung erfolgen: man kann sich also jeden ruhenden Körper **B** in diesem Zustande vorstellen. Wenn nun noch ein Körper **A** mit einer eben so großen Kraft **R**, die nach Westen gerichtet ist, auf ihn wirkt, so wird **B** dieser Kraft folgen: der Erfolg ist also derselbe, als wenn bloß die Kraft **Q** gewirkt hätte, und die Wirkung des Körpers **A** besteht in der Vernichtung der Kraft oder des Widerstands **P**; er hat also diese Kraft auf sich gewandt, und

indem er auf B nach Westen wirkte, litt er eine gleiche aber entgegen gesetzte Kraft P nach Osten. Die ganze Aeußrung der Kraft besteht demnach in dem Widerstande der Last. — Wenn ein Körper gar keinen Widerstand leistete, wenn er für die Kräfte völlig durchdringlich wäre, ihnen freyen ungehinderten Durchgang verstattete, so ließe sich gar keine Wirkung auf ihn denken. Wenn ich einen Menschen hinter mir her ziehe, und er von selbst mir eben so geschwind folgt, so wirke ich gar nicht auf ihn, und mein Gefühl sagt mir, daß ich gar keine Kraft anwende; so bald er aber seine Stelle nicht gutwillig ändert sondern widersteht, so äußert sich meine Kraft, und je stärker der Widerstand ist, desto größere Kraft muß angewandt werden: woraus dann natürlich auch umgekehrt folgt, daß der Widerstand desto größer seyn muß, je größer die Kraft ist, d. h. daß die Reaktion der Aktion gleich ist. So fühlt meine Hand, die einen Stein nach oben drückt, gleichen Druck von ihm nach unten, und das Pferd fühlt sich von derselben Kraft zurück gezogen, mit der es den Wagen zieht. So kann die Sonne die Planeten nicht an sich ziehn, ohne daß diese nach der entgegen gesetzten Seite auf sie zurück wirken, oder die Sonne an sich ziehn, wenn wir gleich das Seil welches beyde verbindet, weder sehn noch begreifen. Wenn die Reaktion nicht genau der Aktion gleich, sondern schwächer als sie wäre, so würde dieses Uebergewicht sich dadurch äußern, daß die Sonne sich selbst zurück zöge, und in dem Augenblick da der Planet in die Sonne stürzt, würden beyde eine rückgängige Bewegung annehmen: die Sonne würde durch ihre eigene Zentralkraft in Bewegung gesetzt werden, so wie ein Mensch hinten über fällt, wenn die gezogene Last plötzlich zu widerstehen aufhört, und von selbst auf ihn zu läuft, oder wenn das Seil, an dem er zog, zerreißt; selbst die Erde müste kraft der Anziehung, die sie auf die schweren Körper äußert, sich nach einer Seite bewegen, ꝛc. Lauter Folgen, deren Ungereimtheit in die Augen fällt.

Attraktion der Masse proportional und allen Körpern gemein.

§. 108. Dieser Widerstand oder diese Reaktion ist es eben, worin die Trägheit der Körper besteht, und wodurch überhaupt die Wirkung der Kräfte möglich wird: sie muß also auch gleich der Trägheit, eine allgemeine wesentliche Eigenschaft jeder Materie, auch des kleinsten Theilchens derselben seyn, und die Trägheit oder Reaktion eines Körpers besteht aus der vereinigten Reaktion aller Elemente seiner Masse, sie ist also seiner Masse proportional. Daher finden die Keplerschen Gesetze bey allen Planeten statt, wie verschieden auch ihre Massen seyn mögen (§. 95. folg.): daher beschleunigt die Schwere auf der Erde alle Pendel von gleicher Länge gleich stark, sie mögen aus Gold oder aus Kork bestehn. Alle diese Erscheinungen beweisen, daß jedes Element der Materie für sich von gleicher Attraktion beseelt wird, und daß die aktive und passive Attraktion jedes Körpers die Summe aller einzelnen Elementar-Attraktionen, folglich seiner Masse proportional ist.

Wenn man nun die Wirkungen der Aktion und Reaktion vergleichen will, so muß man sich erinnern, daß mechanische Wirkungen überhaupt in dem bestehn, was wir oben bewegende Kraft genannt haben, die dem Produkt der Masse in die Geschwindigkeit proportional ist (§. 84. 86.). Jeder ruhende Körper kann nicht ehr einen Stoß, eine Kraft, eine mechanische Wirkung hervor bringen, als wenn er in Bewegung gesetzt wird: diese aus der Bewegung allein entstehende Wirkung muß also ihrer Ursache, der Bewegung proportional seyn. Die Bewegung überhaupt ist unstreitig desto größer, je mehr Masse, und je schneller sie sich bewegt; sie verhält sich also wie die Masse und die Geschwindigkeit, oder wie das Produkt beyder: dieses Produkt muß folglich auch das Maaß jeder mechanischen Wirkung seyn. Wenn also S die Masse der Sonne oder überhaupt des anziehenden Körpers, P die Masse des angezogenen oder des Planeten, und v, c, ihre

Geschwindigkeiten sind, womit sie sich vermöge der gegenseitigen Attraktion einander nähern würden, wenn keine Seitens-Bewegung statt fände, so ist die Aktion der Sonne S v, und die Reaktion des Planeten P c, folglich da beyde gleich seyn müssen, S v = P c oder ½v : c = P : S. Hier ist v die Geschwindigkeit, die dem Zentralkörper S durch die Attraktion des Körpers P mitgetheilt wird, und c diejenige die P durch S erhält. Wenn man nun die absoluten oder intensiven Kräfte (§. 84.) der Körper S und P durch A und B ausdrückt, so werden sich diese, nach welchem Verhältniß der Entfernung sie sich auch immer ändern mögen, bey gleichen Entfernungen verhalten, wie die Geschwindigkeiten die sie mittheilen (§. 82.). In unserm Fall also, wo die Entfernung die nämliche ist (S von P so weit wie P von S), wird B : A = v : c, also auch B : A = P : S, d. h. die absoluten Kräfte oder Attraktionen aller Körper sind ihren Massen proportional: und hieraus folgt widerum, daß die Attraktion eine allgemeine Eigenschaft jeder Masse ist, weil die Attraktion des ganzen Körpers aus den Anziehungen aller seiner Elemente besteht. So folgt also, vermöge der Reaktion, aus der Attraktion der Sonne, des Jupiters, Saturns, ꝛc. daß alle Planeten und Kometen die um die Sonne laufen, alle Trabanten der Haupt-Planeten, kurz alle Weltkörper unsers Sonnen-Systems, ebenfalls eine anziehende Kraft besitzen, die sich zur Zentralkraft der Sonne verhält wie ihre Massen zur Sonnen-Masse, und daß diese Kraft allen den unzähligen Elementen, aus denen jeder Weltkörper zusammen gesetzt ist, dem kleinsten Sandkorn wie dem ganzen Planeten, im Verhältniß der Massen zukömmt. Die Attraktion ist also, gleich der Trägheit und Undurchdringlichkeit, eine wesentliche Eigenschaft aller Materie, und dieses allgemeine Natur-Gesetz dehnt sich, gleich den Gesetzen des Lichts, nicht bloß durch unser Sonnen-System, sondern durch das ganze Universum aus.

Einfluß der Figur der Weltkörper auf die Attraktion.

§. 109. Da also die Attraktion jedes Weltkörpers aus den Wirkungen seiner kleinsten Theile zusammen gesetzt ist, so darf man weder die Sonne noch die Planeten wie einzelne Punkte ansehn, sondern die Figur dieser Körper, so wie die Vertheilung der Masse in ihrem Innern, wird auf die Attraktion der ganzen Körper, also auch auf ihre Bewegung Einfluß haben, und es entsteht die Frage, ob die Bewegung der Weltkörper, die aus unzähligen Elementen zusammen gesetzt sind, deren jedes alle andre im verkehrten Verhältniß der Qvadrate der Entfernungen an sich zieht, noch eben so wohl den Keplerschen Gesetzen folgen werde, als wenn man statt der Körper einzelne Punkte annehmen dürfte. Glücklicher weise wird diese sonst äußerst schwierige Untersuchung durch den Umstand sehr erleichtert, daß so wol die Beobachtungen als die Natur der Sache uns überzeugen, daß die Figur aller Weltkörper von der Kugel unmerklich abweicht. In dieser sphärischen Gestalt der Weltkörper liegt zugleich ein starker Beweis, daß die Attraktion eine allgemeine Eigenschaft aller Körper ist. Die gegenseitige Anziehung aller Massen, oder aller Elemente die einen Weltkörper bildeten, muste sie einander immer mehr nähern und verdichten; und so entstand natürlich durch den von allen Seiten gleichen Druck gegen einander die Gestalt der Kugel, so wie die Schwere den Qveckfilber-Tropfen zum Kügelchen zusammen ballt, und dem Ozean eine sphärische Oberfläche gibt (Th. §. 39.). Was gleichen Druck, gleiche Schwere, gleiche Solidität hatte, muste sich in gleichem Grade nähern; und so legten sich die verschiedenen Massen, nach ihrer spezifischen Dichtigkeit, in gleichförmigen Kugelschichten um den gemeinschaftlichen Mittelpunkt herum, und aus jedem Weltkörper ward eine Kugel, deren Masse vom Mittelpunkt an gleichförmig abnimt. Es bedarf wol keiner Erinnerung, daß alles dies wahrscheinlich nicht im strengsten Sinn wirklich statt findet, daß vielmehr die innern Revolutionen, die vermuthlich jeder Weltkörper gleich der Erde

und ihrem Trabanten erlitten hat, die gleichförmige Vertheilung der Masse sehr gestört haben mag: da aber diese Katastrophen Geheimnisse für uns sind, so werden wir am wenigsten irren, wenn wir uns an jene Hypothese halten, die durch die astronomischen Beobachtungen der Kugel-Gestalt aller Weltkörper bestätigt wird, und durch keine physische Untersuchungen widerlegt werden kann.

Wenn man sich nun jeden Weltkörper als eine Kugel vorstellt, die aus lauter Kugelschichten von gleicher Dichtigkeit zusammen gesetzt ist, so ist offenbar, daß aus den Attraktionen aller Elemente aus denen jede Schichte besteht, eine mittlere Attraktion entstehn muß, die nach dem Mittelpunkt dieser Schichte, also nach dem gemeinschaftlichen Mittelpunkt der ganzen Kugel gerichtet ist: denn nach welcher Seite solte sie sonst gerichtet seyn, da keine von der andern verschieden ist? Die gesammte Attraktion jedes Weltkörpers, als Kugel betrachtet, geht also nach seinem Mittelpunkt, und wirkt eben so, als wenn alle Masse in diesem Mittelpunkt vereinigt wäre, so daß wir jeden Weltkörper wie einen Punkt ansehen können, und die Keplerschen Gesetze durch die körperliche Gestalt der Sonne und der Planeten keine Aendrungen leiden.

§. 110. Eine andre Bewandtniß hat es mit der Reaktion der Planeten, oder der gegenseitigen Attraktion (§. 107.). Die Keplerschen Gesetze sind astronomisch entdeckt und physisch bewiesen in der Voraussetzung, daß die Planeten bloß durch die Zentralkraft der Sonne getrieben werden. Da wir nun aber wissen, daß nicht bloß die Sonne die Planeten anzieht, sondern auch von ihnen angezogen wird, so frägt sich, ob durch diese doppelte Attraktion die Keplerschen Gesetze keine Aendrung leiden; und die Beantwortung dieser Frage erfodert eine Erklärung desjenigen, was man in der Mechanik den Schwerpunkt nennt. Schwerpunkt.

Der gemeinschaftliche Schwerpunkt zweyer Massen S, P (32. Fig.), ist der Punkt C, der in der geraden Linie zwi- 32. Fig.

schen beyden solche Lage hat, daß seine Entfernung von beyden Massen sich verkehrt wie diese Massen verhält, CS:CP = P:S. Dies ist der Punkt, in dem ein Hebel SP, auf den die beyden Gewichte S, P, drücken, unterstützt seyn muß, wenn er ruhig im Gleichgewicht seyn soll, da dann auf ihn die Summe beyder Massen S+P drückt, als wenn sie wirklich in ihm vereinigt wären. Kömmt nun noch eine dritte Masse Q hinzu, so nimt man die Massen S, P, in C vereint an, und sucht auf eben die Art in der Linie CQ den Punkt D, wo DC:DQ = Q:S+P ist, da dann D der gemeinschaftliche Schwerpunkt aller drey Massen ist; und man sieht leicht, daß man auf diese Art den gemeinschaftlichen Schwerpunkt findet, wenn die Anzahl der Massen auch noch so groß ist, also auch von ganzen Körpern in Ansehung der unzähligen Elementar-Massen, aus denen sie bestehn. Jeder Körper S hat seinen Schwerpunkt, der in einer gleichförmigen Kugel mit dem Mittelpunkt überein kömmt, so wie jedes System von Körpern S, P, Q, ꝛc. und es ist aus den ersten Grundsätzen der Statik bekannt, daß dieser Schwerpunkt die Eigenschaft hat, daß alle Wirkungen von Kräften, alle Bewegungen eines Körpers oder eines Systems mehrerer Körper, eben so erfolgen, als wenn alle Massen in ihm vereint wären, so daß man in der Mechanik nur diesen einen Punkt statt des ganzen Körpers betrachten darf. Jeder Körper läst sich wie ein System mehrerer Körper (der Elementar-Massen aus denen er besteht) ansehn; was hier die Entfernungen der einzelnen Körper von einander sind, das sind dort die leeren Zwischenräume oder Pori: das Gesetz der Trägheit muß also eben so wohl von einem ganzen System, als von dem einzelnen Körper, oder vielmehr seinem Schwerpunkt gelten. Die einzelnen Körper die ein System ausmachen, mögen sich bewegen wie man will, so wird doch das ganze System oder der gemeinschaftliche Schwerpunkt aller Körper, beständig ruhen oder in gerader Linie gleichförmig fort rücken, so wie dies,

kraft des Gesetzes der Trägheit, bey einzelnen Körpern statt findet, unerachtet aller Gährungen, Bewegungen und Revolutionen, die uns unbekannt, in ihrem Innern vorgehn. Diese Ruhe oder gleichförmige Bewegung wird fortdauern, so lange keine äußern Kräfte d. h. von Körpern die nicht zum System gehören, auf dasselbe wirken, und wird durch keine innre oder gegenseitige Wirkung der Körper, die das System ausmachen, gestört, so wenig wie durch die gegenseitige Attraktion der Elemente, aus denen ein Körper besteht, seine Ruhe gestört wird, oder von selbst eine Bewegung des ganzen Körpers daraus entstehn kann.

Die Bahnen durch gegenseitige Attraktion

§. 111. Es folgt hieraus, daß, wenn man auf die Reaktion der Planeten Rücksicht nimt, zwar die Sonne durch eine Bewegung erhält, aber nicht der gemeinschaftliche Schwerpunkt der Sonne und des Planeten: dieser wird beständig in Ruhe bleiben, oder eine gerade gleichförmige Bewegung haben, die zugleich die Bewegung des ganzen Sonnen-Systems, und mit der Wurf-Geschwindigkeit einerley ist, durch die unser Sonnen-System vielleicht mit den übrigen Fixsternen um einen gemeinschaftlichen Zentralkörper umläuft, um nicht mit ihm zusammen zu stürzen (§. 42.). Man kann sich vorstellen, daß der ganze Theil des Weltraums, der unser Sonnen-System umfaßt, ausgeschnitten und in eine andre Stelle des unendlichen Raums getragen würde, indessen die Bewegungen der Planeten und Kometen um die Sonne in diesem beweglichen Raum ungehindert vor sich gehn. Da wir also hier nicht vom Fortrücken des ganzen Sonnen-Systems, sondern von der relativen Bewegung seiner einzelnen Theile reden, so müssen wir den gemeinschaftlichen Schwerpunkt als unbeweglich ansehn. Wegen der gegenseitigen Attraktion findet im strengsten Sinne kein Zentralkörper in unserm Sonnen-System mehr statt, so wie keine vollkommene Ruhe: alles ist in Bewegung, die Sonne so wol als die Planeten, und der Zentralpunkt aller Bewegungen kann nur der einzige Punkt

seyn, der immer in Ruhe bleibt, d. i. der gemeinschaftliche Schwerpunkt des Systems. Auf diesen Punkt müssen also eigentlich alle planetarischen Bewegungen zurück geführt werden, wie bisher auf die Sonne; und es frägt sich nun, wie die aus der gegenseitigen Attraktion entstehende Bewegung, so wol der Sonne als der Planeten um ihren Schwerpunkt, beschaffen seyn werde.

Wenn der Planet ohne Wurfs-Geschwindigkeit bloß von der Sonne angezogen würde, so würde er unstreitig in sie stürzen (§. 97.), seine Bahn würde eine gerade Linie seyn, deren Ziel oder Zentralpunkt die Sonne wäre. Wegen der Reaktion aber würden beyde Massen S, P, der Sonne und des Planeten, auf einander zu laufen, und ihre Geschwindigkeiten, $Ss = v$ und $Pp = c$, würden sich verkehrt wie die Massen verhalten (§. 108.). Da dasselbe Verhältniß beständig statt findet, so werden sich auch die in jedem Zeitraum, folglich auch die im Augenblick des Zusammentreffens durchlaufenen Räume SC und PC eben so verhalten: sie stoßen also in einem Punkt zusammen, wo $SC : PC = P : S$ ist. Da nun der Schwerpunkt durch dasselbe Verhältniß bestimmt wird (§. 110.), so folgt, daß vermöge der gegenseitigen Attraktion, der Planet nur bis in den gemeinschaftlichen Schwerpunkt C fallen wird, da er durch die Attraktion der Sonne allein, in die Sonne fallen würde, und daß seine Bewegung dieselbe gerade Linie PC ist, deren Ziel oder Zentralpunkt aber nun nicht mehr die Sonne S, sondern der gemeinschaftliche Schwerpunkt C der Sonne und des Planeten ist. Man wird hieraus schon von selbst vermuthen, daß dies auch mit der krummlinigen Bewegung der Fall seyn werde, daß nämlich der Planet um den gemeinschaftlichen Schwerpunkt eine krumme Linie beschreiben werde, die derjenigen ähnlich ist, die er um die Sonne beschrieben hätte, wenn er von ihr allein angezogen wäre; und man wird sich durch folgende Betrachtungen leicht davon überzeugen.

§. 112. Wenn PQ (33. Fig.) der Bogen ist, den der Planet P in einer gewissen Zeit t durchläuft, so muß die Sonne S, vermöge der Reaktion des Planeten, in eben der Zeit einen Bogen ST beschreiben, so daß sie am Ende der Zeit t, da der Planet in Q ist, in der Linie QC in T eintrifft, weil beyder gemeinschaftlicher Schwerpunkt C ruht (§. 111.), und sich immer in der geraden Linie zwischen beyden Körpern PS oder QT befindet (§. 110.): so daß beyde Körper in gleichen Zeiten um den gemeinschaftlichen Schwerpunkt gleiche Winkel PCQ = SCT beschreiben. Ueberdem sind in jedem Punkt der Bahn die Entfernungen vom Schwerpunkt CP:CS, CQ:CT, &c. beständig in demselben Verhältniß der Massen S:P (§. 110.). Hieraus und aus der Gleichheit der Winkel an C folgt, daß der Planet und die Sonne um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt C, in derselben Zeit einen Umlauf machen, daß ihre Bahnen PQ, ST, vollkommen ähnlich sind, und ihre Größen, ihre Axen, Entfernungen vom Zentralpunkt in jedem Augenblick, &c. sich verkehrt wie die Massen verhalten. sind den Keplerschen Gesetzen gemäß. 33. Fig.

In jedem Punkt seiner Bahn wird der Planet von der Sonne nach PS oder QT, so wie die Sonne vom Planeten nach SP oder TQ gezogen: beyde Attraktionen sind also beständig nach dem Schwerpunkt C gerichtet. Die beschleunigende Kraft womit die Sonne den Planeten anzieht, ist ihrer Masse S, dividirt durch das Qvadrat der Entfernung SP, proportional, die Kraft aber, womit sie vom Planeten angezogen wird, ist seiner Masse P, dividirt durch das Qvadrat eben der Entfernung PS, proportional: folglich verhalten sich die Attraktionen die auf den Planeten und die Sonne wirken, wie die Massen der Sonne und des Planeten, S, P, und beyde sind beständig nach dem gemeinschaftlichen Schwerpunkt gerichtet.

Da $CP:CS = S:P$ ist, so wird $CP = \frac{S}{P} CS$ und

$CS = \frac{P}{S} CP$, folglich $SP = CP + CS = \frac{S}{P} CS + CS$ $= CS\left(\frac{S}{P} + 1\right) = \frac{S+P}{P} CS$, oder auch $SP = CP\left(1 + \frac{P}{S}\right)$ $= \frac{S+P}{S} CP$, d. i. wenn man $S+P = \Pi$ setzt, 1) SP $= \frac{\Pi}{P} CS$ oder 2) $SP = \frac{\Pi}{S} CP$; wo $\frac{\Pi}{P}$ und $\frac{\Pi}{S}$ beständige Größen sind, weil sich die Massen durch die Bewegung nicht ändern, die Entfernungen CS und CP aber veränderliche.

Nun wird der Planet von der Kraft $\frac{S}{SP.SP}$, die Sonne von der Kraft $\frac{P}{SP.SP}$ beschleunigt. Setzt man also im ersten Ausdruck $\frac{\Pi}{S} CP$ (2), im zweyten $\frac{\Pi}{P} CS$ (1) statt SP, so leidet der Planet die Kraft $\frac{S.S.S}{\Pi.\Pi.CP.CP}$, und die Sonne die Kraft $\frac{P.P.P}{\Pi.\Pi.CS.CS}$, und beyde sind nach C gerichtet. Der Planet so wol als die Sonne werden nach dem gemeinschaftlichen Schwerpunkt, als einem unbeweglichen Zentralpunkt, von den absoluten Kräften $\frac{S.S.S}{\Pi.\Pi}$ und $\frac{P.P.P}{\Pi.\Pi}$ gezogen, deren Beschleunigungen sich verkehrt wie die Quadrate der Entfernung des Planeten oder der Sonne von diesem Zentralpunkt, CP oder CS, verhalten. Das Gesetz der treibenden Kraft ist hier also ganz das nämliche, wie bey der Bewegung der Planeten um die ruhende und allein anziehende Sonne: ihre Wirkungen, die Bahnen, müssen also auch die nämlichen seyn. Da die Kraft immer nach dem unbeweglichen Schwerpunkt beyder Körper gerichtet ist, so ist es eine wahre Zentralkraft, bey der das zweyte Keplersche Gesetz nothwendig statt findet (§. 90.), so daß die Sonne und jeder Planet in gleichen Zeiten gleiche Sektoren um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt beschreiben. Da ferner die Kraft sich verkehrt wie das Quadrat der Entfernung von diesem Zentralkörper verhält, so folgt, daß die Sonne und jeder Planet um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt ähnliche Kegelschnitte be-

schreiben (§. 100.), die sich verkehrt wie beyder Massen verhalten, und daß zwischen den elliptischen Umläufen verschiedener Planeten das Verhältniß des dritten Keplerschen Gesetzes statt findet (§. 96.).

§. 113. Wir haben eben gesehn (§. 112.), daß jeder Planet P nach dem gemeinschaftlichen Schwerpunkt von einer Kraft getrieben wird, die zwar verkehrt wie das Quadrat der Entfernung beschleunigt, auch der Sonnen-Masse S proportional, aber nicht gleich, sondern $= \frac{S.S.S}{\Pi.\Pi}$ ist. Der elliptische Umlauf um den Schwerpunkt wird also von dem um die ruhende Sonne verschieden seyn, das dritte Keplersche Gesetz bezieht sich nun nicht mehr auf die Sonne, sondern auf den gemeinschaftlichen Schwerpunkt der Sonne und des Planeten, und man findet dessen Modifikation, wenn man im 95. und 96. §. diesen Schwerpunkt statt der Sonne selbst gebraucht. In der Gleichung (§. 95.) $P\pi : T\tau = \frac{A}{E\,E} : \frac{B}{F\,F}$ muß man also unter S den gemeinschaftlichen Schwerpunkt C so wol der Sonne und des Planeten P, als der Sonne und des Planeten T verstehn, da dann die Entfernungen vom Zentralpunkt $A = CP$ und $B = CT$ werden (29. Fig.), wodurch jene Proportion so ausgedrückt wird (A) $P\pi : T\tau = \frac{CP}{E.E} : \frac{CT}{F.F}$. Da nun $P\pi$, $T\tau$, das Maaß der Zentralkräfte sind, die auf die Planeten P, T, wirken (§. 96.), und jeder Planet P von der Kraft $\frac{S.S.S}{\Pi.\Pi.CP.CP}$ (§. 112.), der Planet T also, wenn man $S + T = \Theta$ setzt, von der Kraft $\frac{S.S.S}{\Theta.\Theta.CT.CT}$ beschleunigt wird, so kann man diese Kräfte statt ihrer Maasse $P\pi$, $T\tau$, in der Proportion (A) substituiren, wodurch man erhält $\frac{S.S.S}{\Pi.\Pi.CP.CP} : \frac{S.S.S}{\Theta.\Theta.CT.CT} = \frac{CP}{E.E} : \frac{CT}{F.F}$, oder indem man die äußern und innern Glieder in einander multiplizirt (Th. §. 25. n. 4.), $\frac{S.S.S.CT}{\Pi.\Pi.CP.CP.F.F} = \frac{S.S.S.CP}{\Theta.\Theta.CT.CT.E.E}$,

Berichtigung des dritten Keplerschen Gesetzes.

und wenn man beyde Glieder durch $S.S.S.CT$ dividirt, und mit $\Pi.\Pi.CP.CP.E.E$ multiplizirt, (B) $\frac{E.E}{F.F} = \frac{\Pi.\Pi.CP.CP.CP}{\Theta.\Theta.CT.CT.CT}$. Nun ist (§. 112. 2)) $SP = \frac{\Pi}{S} CP$, also $CP = \frac{S}{\Pi} SP$, folglich auch $CT = \frac{S}{\Theta} ST$, woraus $\frac{CP}{CT} = \frac{SP.\Theta}{ST.\Pi}$, und $\frac{CP.CP.CP}{CT.CT.CT} = \frac{\Theta.\Theta.\Theta.SP.SP.SP}{\Pi.\Pi.\Pi.ST.ST.ST}$ wird. Multiplizirt man dies mit $\frac{\Pi.\Pi}{\Theta.\Theta}$, und substituirt es in (B), so wird daraus $\frac{E.E}{F.F} = \frac{\Theta.SP.SP.SP}{\Pi.ST.ST.ST}$, oder $\frac{E.E.\Pi}{F.F.\Theta} = \frac{SP.SP.SP}{ST.ST.ST}$, welches die Proportion gibt, $SP.SP.SP:ST.ST.ST = E.E.\Pi:F.F.\Theta$; d. h. die Kubikzahlen der Entfernungen der Planeten von der Sonne (SP, ST,) verhalten sich, nicht wie die Qvadrate ihrer Umlaufszeiten (E, F), sondern wie diese Qvadrate multiplizirt in die Summe der Massen der Sonne und jedes Planeten ($\Pi = S + P$, $\Theta = S + T$).

Diese Berichtigung des dritten Keplerschen Gesetzes ist indessen nur bey den schärfsten Rechnungen nöthig, und bey den meisten Planeten wegen ihrer äußerst geringen Masse ganz überflüssig: denn wenn P und T im Verhältniß zu S sehr klein sind, so ist $S + P$ und $S + T$ nicht merklich von S verschieden, und man kann S statt Π und Θ setzen, da dann die zwey letzten Glieder der Proportion $E.E.S:F.F.S$, d. i. $E.E:F.F.$ werden, welches völlig mit dem dritten Keplerschen Gesetz, wie es oben vorgetragen ist, überein kömmt.

Relative Bahn des Planeten um die Sonne.

§. 114. Aus allem diesem scheint zu folgen, daß man außer der Bahn jedes Planeten um seinen und der Sonne Schwerpunkt, auch noch auf die ihr ähnliche Bahn der Sonne um diesen Planeten Rücksicht nehmen müste, da dann so viele verschiedene Bewegungen der Sonne zu betrachten wären, als es Planeten gibt, wodurch die Sonnenbahn sehr verwickelt werden würde. In der That wäre dies auch nöthig,

wenn es hier um die wahre Bewegung der Weltkörper im abſoluten Raum zu thun wäre; allein die Aſtronomen bekümmern ſich, bey der Unterſuchung der Bewegungen die im Innern unſers Sonnen-Syſtems vorgehn, hierum ſo wenig als um das Fortrücken des ganzen Syſtems: ſie betrachten bloß die relative Bewegung der Planeten um die Sonne, wobey alſo die Sonne in Ruhe angenommen, und ihre eigene Bewegung gleichfals auf den Planeten übergetragen wird.

Indem der Planet P nach Q ging (33. Fig.), rückte die Sonne von S nach T: der relative Ort des Planeten gegen die Sonne wird alſo durch die Lage und Größe der Linie TQ beſtimmt, folglich wenn man die Sonne in S ruhend annimt, durch die ihr gleiche und parallele Linie Sq, ſo daß PQ die wahre, und Pq die relative Bewegung des Planeten um die Sonne iſt. Der Winkel PSq den der Planet mit ſeiner relativen Bewegung um die Sonne beſchreibt, iſt dem Winkel PCQ gleich, den er in eben der Zeit mit ſeiner wahren Bewegung um den Schwerpunkt C beſchreibt, weil Sq, TQ parallel ſind; ferner verhält ſich CQ zu Sq oder zu TQ, wie CP zu SP, nämlich wie die Maſſe der Sonne S zur Summe beyder Maſſen S+P (§. 112.), mithin verhalten ſich die Entfernungen in der relativen Bahn SP, Sq, ꝛc. beſtändig wie die in der wahren Bahn CP, CQ, ꝛc. Da nun überdem die Winkel PSq, PCQ, gleich ſind, ſo folgt hieraus, daß die relative Bahn der wahren Bahn um den Schwerpunkt vollkommen ähnlich, alſo ebenfals ein Kegelſchnitt nach den Keplerſchen Geſetzen iſt (§. 112.). Wenn man die Linie Qq zieht, ſo erhellt, daß dieſelbe mit der wahren Bewegung der Sonne ST einerley iſt, weil im Parallelogramm SQ die gegenüber liegenden Seiten ST, Qq, einander gleich und parallel ſind (Th. §. 25. n. 2.). Die relative Bewegung des Planeten Pq iſt alſo aus ſeiner wahren Bewegung PQ, und einer Qq die der der Sonne ST gleich aber entgegen geſetzt iſt, zuſammen geſetzt: und dieſe Bewegung wür-

de der Planet wirklich haben, wenn man ihm außer der Kraft $\frac{S}{SP.SP}$ mit der er wirklich von der Sonne nach PS gezogen wird, noch eine Kraft beylegte, die derjenigen gleich aber entgegen gesetzt ist, mit der er die Sonne nach SP zieht, also eine Kraft $\frac{P}{SP.SP}$ gleichfals nach PS. Man erhält also die relative Bewegung des Planeten um die in Ruhe angenommene Sonne, wenn man annimt, daß er von der Kraft $\frac{S}{SP.SP} + \frac{P}{SP.SP}$ oder $\frac{S+P}{SP.SP}$ beschleunigt wird, die beständig nach der Sonne oder dem gemeinschaftlichen Schwerpunkt gerichtet ist, d. h. wenn man statt der Sonnen-Masse die Summe der Massen der Sonne und des Planeten setzt.

Wahres Welt-System.

§. 115. Die gegenseitige Attraktion aller Weltkörper auf einander macht also auch gleichsam eine verbesserte Ausgabe des Kopernikanischen Weltsystems nöthig. Die Sonne ist nicht in vollkommener Ruhe, und ihre Bewegung besteht nicht bloß im Fortrücken des ganzen Systems (§. 42.), sondern sie nimt wirklich an der Bewegung, die im Innern dieses Systems vorgeht, mit den Planeten und Kometen Theil, und läuft gleich ihnen um den gemeinschaftlichen Schwerpunkt. Die Sonne ist nicht im strengsten Sinne der Zentralkörper unsers Planeten-Systems, es gibt vielmehr eigentlich gar keinen, und der einzige unbewegliche Punkt, der Zentralpunkt auf den sich alle Bahnen der Planeten, Kometen, und der Sonne selbst beziehen, ist der gemeinschaftliche Schwerpunkt aller dieser Massen, in dem man sich wirklich alle Materie des ganzen Systems vereinigt denken muß. Kraft der Anziehung der Erde beschreibt die Sonne in einem Jahr eine Elipse, die unsrer jährlichen Bahn ähnlich ist, oder dieselbe Ekzentrizität hat, aber um so viel kleiner ist, als die Sonnenmasse die Erdmasse übertrifft, welches, wie wir unten sehn werden, mehr als 337000 mal ist: der Halbmesser dieser Elipse beträgt also nur 60 Meilen (§. 5.), d. h. ihr Mittel-

punkt oder Brennpunkt, der mit dem gemeinschaftlichen Schwerpunkt der Sonne und der Erde einerley ist, ist nur 60 Meilen vom Mittelpunkt der Sonne entfernt, welches den 1565ten Theil ihres Halbmessers ausmacht (§. 12.). Eine andre Ellipse beschreibt die Sonne wegen der Attraktion Jupiters oder Saturns, und der Brennpunkt dieser Ellipse ist der gemeinschaftliche Schwerpunkt der Sonne und des Jupiters oder Saturns, liegt also in der geraden Linie zwischen ihr und dem Jupiter oder Saturn, so daß die Sonne so viele verschiedene Ellipsen zugleich beschreiben würde, als es Planeten und Kometen gibt. Da dies nun unmöglich ist, so sieht man, daß ihre wahre Bewegung aus den Elementen aller dieser Ellipsen zusammen gesetzt, folglich eine sehr verwickelte Linie seyn muß, deren Berechnung aber ganz unnöthig ist, da die Astronomen nicht die absoluten, sondern die relativen Bahnen betrachten, und bey jeder Planetenbahn nicht die Sonnen-Masse, sondern die Summe ihrer Masse und der des Planeten zum Grunde legen (§. 114.), wodurch die Bewegung der Sonne mit der des Planeten gleichsam amalgamirt wird. Die Sonne unterscheidet sich also von den Planeten nicht durch ihre Ruhe, sondern durch ihre beträchtlichere Masse, wodurch der gemeinschaftliche Schwerpunkt des ganzen Systems so nahe bey der Sonne liegt, ihre Bewegung um denselben folglich so geringe wird, daß man sie leicht mit der Bewegung der Planeten verbinden, und daher die Sonne als den Zentralkörper des Planeten-Systems ansehen kann. Wir werden unten sehn, daß die Sonnen-Masse fast 800mal größer ist, als die gesammten Massen aller Planeten, die man sich zwischen Jupiter und Saturn, deren Massen die grösten sind, in einer Entfernung von etwa 7 Halbmessern der Erdbahn, oder 140 Millionen Meilen (§. 5.), vereinigt vorstellen kann. Wenn sich also auch alle Planeten zugleich auf derselben Seite von der Sonne oder in Konjunktion befänden, so würde dennoch der gemeinschaftliche Schwerpunkt des ganzen Systems nur

um den 800ten Theil von 140 Millionen Meilen, d. i. um 175000 Meilen, also um weniger als den Durchmesser der Sonne (§. 12.), von ihrem Mittelpunkt entfernt seyn, von der Oberfläche der Sonne also um weniger als den Halbmesser. Da aber die Planeten mehrentheils nach allen Seiten um die Sonne vertheilt sind, die überdem von den unzähligen nach allen Gegenden zerstreuten Kometen umgeben ist, deren Massen uns ganz unbekannt sind, so wird der gemeinschaftliche Schwerpunkt gewöhnlich im Innern der Sonne selbst in geringer Entfernung von ihrem Mittelpunkt liegen, so daß die wahre Bewegung der Sonne eine Art von Rotation, ein hin und her Schwanken um einen Punkt in ihrem Innern ist.

Ein unsichtbarer Hebel verbindet die Sonne mit allen Weltkörpern ihres Systems, ein Hebel auf dessen einem Ende ein kleines Gewicht, aus den Massen aller Planeten und Kometen zusammen geschmolzen in ihrem gemeinschaftlichen Schwerpunkt, auf dem andern Ende aber ein 800 mal größres Gewicht, die Sonnen-Masse liegt, und der auf einer Unterlage im Gleichgewicht ist, die sich immer sehr nahe beym Mittelpunkt der Sonne, und mehrentheils in ihrem Innern befindet. Diese Unterlage, der gemeinschaftliche Schwerpunkt der Sonne und aller Planeten und Kometen, ruht unbeweglich, oder rückt mit dem ganzen Sonnen-System fort; aber beyde Gewichte, so wol das kleine als das große, drehn sich mit dem Hebel selbst um die Unterlage herum, nähern sich ihr, und entfernen sich von diesem einzigen Zentralpunkt des Systems; und in diesem Drehen und Balanciren des Hebels bestehn alle die unzähligen verwickelten Bewegungen der Planeten und Kometen, die doch immer den Keplerschen Gesetzen gehorchen.

Fünftes Kapitel.

Allgemeine Gravitation.

§. 116. Als Newton zuerst den glücklichen Gedanken hatte, der, von einem solchen Geiste bearbeitet, bald zur geometrischen Wahrheit ward, daß eine und dieselbe Kraft, die wir die Schwere nennen, den Mond um die Erde führt, und den Apfel vom Baume fallen läßt, da mischte sich wahrscheinlich mit der Freude über die Entdeckung, Verwundrung daß ihm dieser so sehr natürliche Gedanke nicht ehr gekommen sey. Es gibt vielleicht wenig so glänzende Entdeckungen, wenige, die sich beym ersten Anblick so erhaben und genialisch, so voll innrer Wahrheit, und so reich an den wichtigsten Folgen für die ganze Physik, zeigen, und die doch durch so leichte und evidente Schlüsse aus den bereits bekannten Wahrheiten folgen, als diese. Wenn die Attraktion eine wesentliche Eigenschaft jedes materiellen Stoffs ist, wie im vorigen Kapitel bewiesen ist, wenn besonders die Erde, als Zentralkörper der Ellipse die der Mond um sie beschreibt, mit einer Zentralkraft begabt seyn muß, die eben so auf den Mond wirkt, wie die der Sonne auf die Planeten; wenn diese Kraft in geringerer Entfernung in einem zweymal so großen Verhältniß stärker seyn muß: wie stark muß sie sich dann nicht auf der Oberfläche der Erde selbst äußern, und wie wäre es möglich, daß sie sich uns, die wir auf dieser Oberfläche unser Wesen und Unwesen treiben, nicht fühlbar machte? So wie die Erde den Mond in seiner Bahn hält, oder an sich zieht, so muß sie den Stein den ich aus meiner Hand fallen lasse, so muß sie mich selbst, so muß sie alle Körper, wenigstens alle die nicht weiter von ihr entfernt sind als der Mond, an sich ziehn, und zwar desto stärker je näher sie ihr sind. Und was ist dann der Fall der Körper auf der Erde, der Druck durch den sie ihren Trieb, sich dem Mittelpunkt der Erde zu nähern, zu

Attraktion der ♁ auf den ☾ ist mit der Schwere einerley.

erkennen geben, kurz, was sind alle die verschiedenen Phänomene, die wir unter der Benennung der Kraft der Schwere zusammen begreifen, anders als Wirkungen der Anziehung der Erde? Alle die unzähligen Elemente aus denen die Erde besteht, ziehn alles was ihnen nahe kömmt, von allen Seiten an sich; aber aus allen diesen sich durchkreutzenden Attraktionen entsteht, weil die Erde eine Kugel ist, eine mittlere Kraft die beständig nach ihrem Mittelpunkt gerichtet ist, und so wirkt, als wenn in diesem einen Punkt alle Masse vereinigt wäre (§. 109.). Jeder Körper wird daher von der Erdmasse nach ihrem Mittelpunkt gezogen: der Stein fällt senkrecht (also in einer Richtung die durch den Mittelpunkt geht) zur Erdfläche herab, durchdringt die Luft und das Meer, und wird nur durch die feste Rinde der Erde gehindert, bis zum Mittelpunkt selbst zu fallen, so wie der Mond in jedem Augenblick zur Erde herab fällt (§. 95.), und dadurch allein gehindert wird, längs der Tangente fort zu laufen. Warum soll man also für diese ganz ähnlichen Wirkungen zwey verschiedene Kräfte erdenken, eine die bloß in der Nähe wirkt, eine andre die sich nur in der Entfernung des Mondes äußert? Was für Gründe berechtigen uns, die Kraft die den Mond in seiner Ellipse um die Erde führt, an ihrer Oberfläche wo sie ungleich stärker seyn muß, zu vernichten, oder die allmächtige Kraft der Schwere in der Gegend des Monds, der doch, wie seine Bahn beweist, sich nicht außer den Wirkungskreise der Erde befindet, unthätig zu machen? Der Widerspruch der hierin enthalten ist, zwingt uns, beyderley Phänomene, die uns die Physik an der Erdfläche, und die uns die Astronomie in der Entfernung des Monds zeigt, für Wirkungen einer und derselben Kraft der Schwere zu halten, wenigstens zu untersuchen, ob die Zentralkraft der Erde, die sich an der Bewegung des Monds zeigt, nach dem Newtonschen Verhältniß der Qvadrate der Entfernungen auf die Erde verpflanzt, den Stein genau so stark anziehen würde, wie es mit der Ge-

schwindigkeit mit der wir ihn fallen sehn, übereinkömmt, und umgekehrt. So wird also die ganze Untersuchung ein bloß mathematisches Problem, und das Resultat das daraus folgt, eine geometrische Wahrheit.

§. 117. Wenn (29. Fig.) S der Mittelpunkt der Erde, ST ihr Halbmesser, SP der Halbmesser der Mondbahn die hier, wo es nur auf die mittleren Bewegungen ankömmt, als kreisrund angenommen werden kann, und PSp der Winkel ist, den der Mond mit seiner mittleren Bewegung in 1 Sekunde um die Erde beschreibt, so ist PSp = 33‴ (Th. §. 170.), ST = 859,4 Meilen (§. 4.), welches ungefähr 20307000 Rheinl. Fuß ausmacht, und SP = 60. ST (§. 7.) also SP = 1218420000 Fuß. Zieht man nun pπ senkrecht auf SP, so findet man in den trigonometrischen Tafeln, daß für den Halbmesser = 1, sin PSp oder sin 33‴ dem Bruch 0,000002666 5 gleich ist: multiplizirt man also diesen Bruch mit dem Halbmesser SP, so erhält man pπ = 3248,92 wovon das Quadrat 10555460 ist. Dieses Quadrat ist dem Produkt von Pπ in den doppelten Halbmesser 2SP = 2436840000 gleich (§. 94.): wird es also durch diese Zahl dividirt, so ist der Quotient Pπ = 0,00433162. Dies ist der Fall des Mondes zur Erde in 1 Sekunde, oder seine Abweichung von der Tangente seiner Bahn PQ: seine wahre Bewegung Pp ist nämlich aus PQ und Pπ zusammen gesetzt, daher er, wenn seine Wurfs-Geschwindigkeit vernichtet, oder er einen Augenblick durch ein Hinderniß zur Ruhe gebracht würde, durch die Attraktion der Erde in 1 Sekunde wirklich durch 0,0043 Fuß = 0,052 Zoll oder $\frac{1}{2}$ Linie, wie der Stein aus der Hand, zur Erde herab fallen würde. Dieser Fall ist das Maaß der Beschleunigung der Zentralkraft (§. 96.). Da sich nun die Beschleunigungen der Zentralkraft jedes Weltkörpers, und namentlich der Erde, in verschiedenen Entfernungen SP, ST, verkehrt wie die Quadrate derselben verhalten (§. 106.), so müssen sich auch die Räume Pπ, Tτ, durch welche die Kör-

Beweis. 29. Fig.

per in 1 Sekunde zum Erd-Mittelpunkt fallen, eben so verhalten. Ist also die Attraktion der Erde, wodurch der Mond in seiner Bahn Pp gehalten wird, mit der Schwere an der Erdfläche Tt eine und dieselbe Kraft, so muß sich der Raum Tτ, durch den schwere Körper auf der Erde in 1 Sekunde fallen, zu Pπ verhalten, wie das Quadrat vom Halbmesser der Mondbahn SP zum Quadrat des Erdhalbmessers ST, d. i. wie 60 mal 60 oder 3600 zu 1. Multiplizirt man also den eben gefundenen Werth von Pπ mit 3600, so findet man Tτ = 15,6 Rheinl. Fuß, welches mit dem Fall der schweren Körper auf der Erdfläche in 1 Sekunde = 15,625 den man durch die genauesten physischen Versuche gefunden hat, vollkommen überein stimmt. Es ist also mathematisch bewiesen, daß die Kraft die den Mond in seiner Bahn hält, mit der Schwere auf der Erde einerley ist, und daß der Mond zur Erde herab fällt wie der Apfel vom Baum, nur letztrer in dem Verhältniß schneller, wie es seine geringere Entfernung vom Erd-Mittelpunkt nach dem Newtonschen Gesetz mit sich bringt.

Man kann eben diesen Beweis auch in umgekehrter Ordnung führen, da man dann das Resultat erhält, daß, wenn die Kraft der Schwere, wie jede Zentralkraft, im Verhältniß der Quadrate der Entfernungen abnimt, sie in der Entfernung des Monds, diesen und jeden andern Körper in 1 Sekunde genau so viel zur Erde herab ziehen würde, als der Mond wirklich in seiner Bahn herab fällt. Wenn man nun durch physische Versuche findet, daß wirklich die Schwere auf der Erde sich in diesem Verhältniß ändert, so erhält man dadurch einen neuen Beweis für die Wahrheit dieses Satzes. Die genauesten Versuche die wir in dieser Rücksicht anstellen können, sind die über die Länge des Sekunden-Pendels, die mit der Schwere aufs innigste zusammen hängt; und den grösten Unterschied der Entfernungen vom Erd-Mittelpunkt, in denen wir diese Länge messen können, gewähren uns die

höchsten Berge des Erdbodens. In der That haben die astronomischen Beobachtungen, die die französischen Akademiker auf den Kordilleras angestellt haben, bewiesen, daß der Pendel der Uhr, wenn er Sekunden schlagen sollte, desto mehr verkürzt werden muste, je höher sie sich über der Erdfläche erhoben; woraus folgte, daß die Schwere in größern Entfernungen vom Mittelpunkt der Erde abnimt, und zwar genau im Quadrat-Verhältniß.

Allgemeine Gravitation.

§. 118. Durch solche Schlüsse gelangte Newton zur Entdeckung der allgemeinen Schwere oder Gravitation. Die Kraft die den Weltkörpern ihre Bahnen vorzeichnet, ist nicht der Sonne eigen, und wirkt nicht bloß in den höheren Sphären des Himmels: sie ist eine wesentliche Eigenschaft alles materiellen Stoffs, und äußert auf der Oberfläche jedes Weltkörpers dieselben Wirkungen, die wir auf der Erde die Schwere nennen; jene himmlische Kraft ist einerley mit der mechanischen Kraft, durch die wir Pfähle einrammeln, durch die der Hammer dem Eisen seine Form gibt, durch die wir vermittelst der Uhren den Strom der Zeit messen, die den Weltkörpern ihre sphärische Form gibt, und das kleinste Stäubchen ewig an den Planeten fesselt, dem die Natur es bestimmt hatte. Die allgemeine Gravitation ist die allmächtige Kraft, die das Weltall belebt, die zwischen dem fernsten Nebelflecken den unsre Fernröhre nicht mehr erreichen, unsrer Milchstraße, und selbst unserm Erdball, das Band der Geselligkeit knüpft, und jeden Weltkörper, wie jeden seiner Bewohner, den unwiderstehlichen Willen des großen Urhebers der Natur fühlen läst. Durch sie laufen Sonnen-Systeme in ihren vorgeschriebenen Bahnen, durch sie hebt und senkt sich das Weltmeer, durch sie macht der Pendel seine regelmäßigen Schwingungen, durch sie fallen Blätter und Früchte vom Baum. Die Zentralkraft der Sonne und jedes andern Weltkörpers ist mit der Schwere einerley, und nur nach der größern oder geringeren Masse verschieden, aus der jeder Körper besteht. Nicht bloß

die Sonne zieht die Planeten an, alle Körper im Universum, nahe und ferne, ziehen sich gegenseitig im Verhältniß ihrer Massen an; und die wahre Bewegung jedes Weltkörpers, die aus den verwickelten Kombinationen dieser unzähligen Kräfte entsteht, würde der Geometrie ein unauflösliches Problem seyn, wenn die Natur nicht durch eine weise Vertheilung der Entfernungen und Massen der Weltkörper, die Berechnung ihrer Bahnen uns erleichtert hätte. Ein Sandkorn würde in der Entfernung des Monds ein Trabant der Erde werden, und dieselbe Ellipse wie dieser Weltkörper beschreiben; und so wie der Mond, aus der Hand der Allmacht fort geschleudert, nicht zur Erde herab sinkt, sondern ewig in derselben Entfernung seinen Umlauf um sie verrichtet, so wird auch der horizontal fort geworfene Stein nicht auf die Erde fallen, sondern eine Ellipse oder einen andern Kegelschnitt um sie beschreiben. Daß diese Bahn nicht gleich der des Monds eine ewige Dauer hat, sondern bald durch die Berührung des Steins mit der Erdfläche unterbrochen wird, davon gibt es außer dem Widerstande der Luft noch einen andern Grund, dessen Erklärung ein neues Licht über diesen Gegenstand verbreiten wird.

Der geworfene Stein fliegt nicht in horizontaler Richtung fort, sondern in einer Linie die sich wegen der Attraktion der Erde nach ihrem Mittelpunkt krümmt. Diese krumme Linie würde, wenn der Widerstand der Luft sie nicht änderte, den Keplerschen Gesetzen gemäß, ein Kegelschnitt seyn, dessen individuelle Natur von der Wurfs-Geschwindigkeit abhängt, die der Stein erhalten hat. Sie wird nämlich eine Ellipse Tt (29. Fig.), wenn die horizontale Geschwindigkeit $TV = c$ womit der Stein geworfen ward, von der Art ist, daß cc kleiner als $4np$ ist, und zwar wird T die Erdferne, wenn cc kleiner als $2np$ ist (§. 100. n. 5. 6.). Hier ist nun $n = T$ der Raum, durch den der Stein durch die Attraktion der Erde, die Schwere, in 1 Sekunde senkrecht herab fallen würde,

also n = 15,625 Fuß (§. 117.), und p = TS die Entfernung des Steins vom Erd-Mittelpunkt oder der Halbmesser der Erde, also p = 20307000 Fuß (§. 117.), folglich 2np = 634593750, welche Zahl das Quadrat von 25191 ist. Wenn also die Geschwindigkeit c, womit der Stein geworfen wird, kleiner als 25191 Rheinl. Fuß ist, so beschreibt er um den Mittelpunkt der Erde als den Brennpunkt, eine Ellipse deren Erdferne der Punkt T ist, aus dem er geworfen ward. Da nun die gröste Geschwindigkeit mit der wir einen Körper werfen können, (die einer Kanonenkugel) nicht 1600 Fuß übersteigt, welches nur den 16ten Theil von 25191 beträgt, so sieht man, warum es menschlichen Kräften unmöglich ist, einem Körper eine solche Geschwindigkeit zu geben, daß er wirklich einen ununterbrochenen Kegelschnitt beschriebe: da nämlich T die Erdferne der Bahn des Steins ist, so nähert er sich in jedem Augenblick q, t, der Erde, erreicht also die Erdfläche, so bald er sich um so viel genähert hat, als der Ort aus dem er geworfen ward, über ihr erhaben ist, und bleibt nun ruhig liegen. Wir müsten eine 16 mal stärkere Kraft als die des Pulvers anwenden können, wenn die Kugel einen fortdauernden Kegelschnitt um die Erde beschreiben solte; und auch dann würde sie bald durch den Widerstand der Luft zur Erde herab gedrückt werden. Man sieht übrigens, daß die elliptische Bewegung desto länger fortdauern werde, je höher der Ort ist, von dem die Kugel abgeschossen wird.

Abwägung der Weltkörper.

§. 119. Wir kommen nun zu einem Gegenstand, der beym ersten Anblick so sehr jenseits der Gränzen unsers Wissens zu liegen scheint, daß die Genauigkeit und Gewißheit womit er von den Astronomen bestimmt ist, ihnen bey denjenigen, die über Wissenschaften urtheilen, ohne sich die Mühe zu geben ihre Gründe zu erforschen, den Vorwurf einer anmaßenden Pralerey zugezogen hat. Und dennoch ist diese transzendente Lehre nichts weiter, als eine nothwendige und evidente Folge aus der durch die Bahnen der Weltkörper geome-

trisch bewiesenen Theorie der allgemeinen Gravitation. Es ist hier nämlich die Rede von der Abwägung der Weltkörper. Nachdem wir bisher den Zirkel gebraucht haben, um die Größe der Weltkörper, ihre Entfernung, die Figur ihrer Bahn, ihre Geschwindigkeit, ꝛc. zu bestimmen, so soll nun die Wagschale uns dienen, folgende Fragen zu beantworten. Wie verhält sich, nicht die Größe, sondern die Masse der Sonne und der Planeten gegen einander? Wie viel mehr materiellen Stoff enthält die Sonne, oder Jupiter, wie viel schwerer wiegen sie als die Erde? Ist die Materie, aus der sie gewebt sind, dichter oder lockrer, als der Stoff aus dem unsre Erde besteht? Ist das was wir auf der Erde die Schwere nennen, auf jenen Weltkörpern stärker oder schwächer? Fallen die Körper dort schneller oder langsamer? Was ist das Gewicht der ganzen Erdkugel? Ist ihr Innres solider, spezifisch schwerer, oder leichter, als die Luft, oder das Wasser, oder die Mineralien, womit ihre Oberfläche bedeckt ist? — Alle diese Fragen lassen sich, mit Ausnahme der letzten, auf eine sehr faßliche Art aus der bisher bewiesenen Theorie beantworten; und die Leser werden leicht vermuthen, daß hier das Abwägen so wenig, wie dort das Messen, ohne Rechnung abgeht. Dieser Theil der Astronomie unterscheidet sich von dem vorhergehenden nur dadurch, daß statt der geometrischen Punkte, Linien, Flächen, und Körper, die bisher betrachtet sind, jetzt wirkliche physische Körper, ihre Masse und ihre Dichtigkeit, der Gegenstand sind.

Formeln der Rechnung.

§. 120. Diese ganze Rechnung beruht auf folgenden wenigen Sätzen, die oben ausführlich bewiesen sind.

1) Da die Kraft womit jeder Körper alle andern an sich zieht, das Resultat oder die Summe der Attraktionen aller der unzähligen kleinen Massen ist, woraus er besteht, so wird diese Summe zweymal, dreymal, oder überhaupt n mal so groß seyn, wenn die Masse n mal so viel Elemente enthält oder n mal so groß ist; die Masse der Körper verhält sich

also, wie die intensive oder absolute Größe ihrer Attraktion (§. 108.).

2) Da aber die beschleunigende Kraft, oder die Geschwindigkeit die sie den angezogenen Körpern mittheilt, in größern Entfernungen vom Zentralkörper abnimt, so werden zwey gleiche Massen in ungleichen Entfernungen ungleich beschleunigen; und diese Beschleunigungen werden nur dann gleich seyn, wenn die Umstände die nämlichen sind: eine doppelte Masse oder absolute Kraft wird unter den nämlichen Umständen zweymal so stark beschleunigen, ꝛc. Die Massen verhalten sich also wie ihre Beschleunigungen oder Wirkungen in gleichen Entfernungen.

3) Die beschleunigende Kraft eines Zentralkörpers S (29. Fig.) zeigt sich unmittelbar an der Bahn T t, die ein Planet oder Trabant um ihn beschreibt; und wir haben gesehn, daß der Fall T τ zum Zentralkörper in gleichen Zeiten (z. B. 1 Sekunde) zum Maaß bey der Vergleichung verschiedener beschleunigenden Kräfte dient (§. 96.). Soll hiedurch aber zugleich das Verhältniß der absoluten Kräfte oder der Massen bestimmt werden, so müssen die Beschleunigungen zuvor auf die nämliche Entfernung reduzirt werden (n. 2.); und hiezu dient das von Newton entdeckte Gesetz der Attraktion (§. 96.), nach welchem sich die Beschleunigungen verkehrt wie die Qvadrate der Entfernungen verhalten.

4) Da wir es hier bloß mit den mittleren Bewegungen zu thun haben, so sind die gegebenen Größen die Umlaufszeiten der Weltkörper, E, F, und ihre Entfernungen vom Zentralkörper, A, B. Machen nämlich zwey Planeten oder Trabanten P, T, (29. Fig.) um verschiedene Zentralkörper, in den Entfernungen A, B, einen Umlauf in den Zeiten E, F, so verhält sich das Maaß ihrer Beschleunigungen $P\pi : T\tau = \frac{A}{E.\ E} : \frac{B}{F.\ F}$ (§. 95.), wo aber die letztre auch auf die Entfernung A reduzirt werden muß. Man nehme an, daß die Kraft des

zweyten Zentralkörpers so groß sey, daß seine Beschleunigung in der Entfernung $SN = SP = A$ durch den Fall $N\nu$ in 1 Sekunde bestimmt wird, so daß $N\nu$ aus $T\tau$ wird, wenn A aus B wird. Da sich nun die Beschleunigungen $T\tau$, $N\nu$, verkehrt wie die Quadrate der Entfernungen B, A, verhalten, so wird $T\tau : N\nu = A.A : B.B$, oder $N\nu = \frac{B.B}{A.A} T\tau$. Aus der vorigen Proportion aber war $T\tau = \frac{B.E.E}{A.F.F} P\pi$, folglich ist $N\nu = \frac{B.B.B.E.E}{A.A.A.F.F} P\pi$, oder $P\pi : N\nu = \frac{A.A.A}{B.B.B} : \frac{E.E}{F.F}$; und eben so verhalten sich die Massen beyder Zentralkörper.

5) Dies gibt also folgende Regel für die Vergleichung der Massen. Wenn um den Zentralkörper M ein Planet oder Trabant in der Zeit E einen Umlauf macht, und A der Halbmesser seiner Bahn ist, um den Zentralkörper N aber in der Zeit F ein Trabant eine Bahn beschreibt, deren Halbmesser B ist, so verhalten sich die Massen M und N, wie die Kubikzahl von $\frac{A}{B}$ zur Quadratzahl von $\frac{E}{F}$, oder in der Sprache der Geometer, $M : N = \left(\frac{A}{B}\right)^3 : \left(\frac{E}{F}\right)^2$.

Massen der Planeten, die Trabanten um sich haben,

§. 121. Wenn man statt M die Sonnen-Masse setzt, so erhält man durch diese Formel die Massen aller Planeten N, welche Trabanten um sich haben, im Verhältniß zur Sonnen-Masse; und ein Beyspiel wird diese Rechnung vollkommen klar machen. Um die Masse Jupiters zu bestimmen, gebraucht man am besten seinen IV Trabanten, da dann A die mittlere Entfernung Jupiters von der Sonne, E seine sideriſche Umlaufszeit, B der Halbmesser der Bahn des IV Trabanten, und F seine Umlaufszeit um den $\mathfrak{Q}$ ist. Man hat also in geographischen Meilen, $A = 104'803125$ (§. 5.), $B = 245418$ (§. 15.), und $E = 4332$ T. 14 St. 18′ 41″ (Th. §. 122.), oder in Stunden $E = 103982,3114$; $F = 16$ T. 16 St. 31′ 49″,7 (Th. §. 188.), oder in Stunden

$F = 400,530472$. Dies gibt $\frac{A}{B} = 427,0393$ wovon die Kubikzahl 77876002 iſt; ferner $\frac{E}{F} = 259,6114$ wovon das Quadrat 67398,09 iſt. Die Sonnen-Maſſe M verhält ſich alſo zur Jupiters-Maſſe N (§. 120.) wie 77876002 zu 67398,09 oder wie 1155,463 zu 1; d. h. die Sonne enthält 1155 mal ſo viel Maſſe als 2.

Für die Erd-Maſſe hat man die mittlere Parallaxe der Sonne $= 8'',8$; des Monds $= 57' 34'',2$ (Th. §. 223. 178.). Da ſich nun die Entfernungen umgekehrt wie die Parallaxen verhalten, ſo iſt $\frac{A}{B} = \frac{57' 34'',2}{8'',8} = 392,5$ wovon die Kubikzahl 60467078 iſt. Das Stern-Jahr iſt $E = 365$ T. 6 St. 9′ 8″ (Sph. §. 98.), der ſideriſche Monat $F = 27$ T. 7 St. 43′ 11″,5 (Th. §. 170.), alſo $\frac{E}{F} = 13,36875$ wovon das Quadrat iſt 178,72345. Demnach verhält ſich die Sonnen-Maſſe M zur Erdmaſſe N wie 60467078 zu 178,72345 d. i. wie 338327,5 zu 1, oder die Sonnen-Maſſe iſt 338327 mal ſo groß als die Erd-Maſſe. Um dieſe zu beſtimmen, kann man auch ſtatt der Mondbahn, die Attraktion der Erde an ihrer Oberfläche, die uns aus dem Fall der ſchweren Körper unmittelbar bekannt iſt, gebrauchen, wodurch man ein noch genaueres Reſultat erhält.

Da bey dieſer ganzen Rechnung die relative Bewegung der Planeten und Trabanten um ihren Zentralkörper gebraucht ſind, ſo muß eigentlich ſtatt der Maſſen M, N, die Summe der Maſſen der Sonne und des Planeten, ſo wie dieſes und ſeines Trabanten gebraucht werden (§. 114.), wodurch obige Zahlen nur um 1 verändert werden. Uebrigens ſieht man, daß die Baſis der ganzen Rechnung, in ſo fern die Entfernungen dabey vorkommen, die Sonnen-Parallaxe iſt (§. 4.), welche wir hier zu 8″,8 angenommen haben.

und der übrigen.

§. 122. Auf diese Art haben nur die Massen der Erde, des Jupiters, Saturns und Uranus, die Trabanten um sich haben, bestimmt werden können. Die Masse der übrigen Weltkörper läst sich nur durch die Wirkungen, die sie auf andre Planeten äußern, bestimmen. Jeder Planet zieht alle andre an sich, und stört sie daher in ihrer elliptischen Bewegung um die Sonne mehr oder weniger, nach Maaßgabe seiner Masse und seiner Entfernung von ihnen. Wenn man also diese Störungen nach der physischen Theorie berechnet, und dann mit den wirklichen Abweichungen der planetarischen Bewegungen von der Ellipse vergleicht, die aus den genauesten Beobachtungen folgen, so läst sich hiedurch die Masse des störenden Planeten finden. — Die beträchtlichste Wirkung die der Mond auf die Erde äußert, ist die Ebbe und Flut, und die genauesten Berechnungen und Beobachtungen derselben, so wie der Nutation und des Vorrückens der Nachtgleichen, welche gleichfals Wirkungen des Mondes sind, haben das Resultat gegeben, daß die Masse des Monds sich zur Erd-Masse verhält wie 1 zu $68\frac{1}{2}$. — Die Störungen die Saturn in der Bewegung Jupiters anrichtet, sind so bedeutend, daß sich dadurch seine Masse genauer bestimmen läst, als durch die Bahnen seiner Trabanten, deren Halbmesser sich nicht mit großer Schärfe beobachten lassen. — Auch die Störungen die die Erde von der Venus und dem Mars leidet, sind beträchtlich genug, um die Massen dieser Planeten mit einiger Zuverlässigkeit zu berechnen. — Selbst die Störungen welche die 4 Jupiters-Trabanten in ihren Bahnen gegenseitig anrichten (Th. §. 187—189.), sind hinlänglich zur Bestimmung ihrer Massen. — Die Störungen die von der Wirkung Merkurs und der vier neuen Planeten herrühren, sind zu unbedeutend, als daß sich ihre Masse daraus mit Sicherheit berechnen ließe: daher ihre Massen, so wie die der Kometen und der übrigen Trabanten, uns unbekannt sind, und wahrscheinlich bleiben werden.

§. 123. Die Densität oder Solidität eines Körpers ist desto größer, je dichter, d. h. in einen je kleineren Raum seine Masse zusammen gedrängt ist, folglich in einem je kleineren Raum er dieselbe Masse, oder je mehr Masse er in demselben Raum enthält. Es folgt hieraus, daß die Dichtigkeit verschiedener Körper sich verhält, wie ihre Masse dividirt durch den Raum oder den körperlichen Inhalt. Wenn man also die Dichtigkeit der Erde zur Einheit annimt, womit alle übrigen verglichen werden sollen, so muß auch die Masse der Erde, so wie ihre körperliche Größe, zur Einheit dienen: und dann findet man die Dichtigkeit der übrigen Weltkörper im Verhältniß zur Erde, wenn man ihre Massen im Verhältniß zur Erde, wie sie nach §. 122. gefunden sind, durch die Zahlen dividirt, die ihnen in der 3ten Kolumne der Tafel §. 11. entsprechen, und ihre körperliche Größe im Verhältniß zur Erde ausdrücken. Wir werden (§. 125.) sehn, daß die Sonnen-Masse 337086 mal größer ist als die Erdmasse: dividirt man diese Zahl durch 1304163 (§. 11.), so erhält man den Quotienten 0,25847 oder etwas mehr als $\frac{1}{4}$; d. h. die Erdkugel ist im Durchschnitt fast viermal so dicht als die Sonne. Dichtigkeit der Planeten.

In der Proportion (§. 120.) $M : N = \left(\frac{A}{B}\right)^3 : \left(\frac{E}{F}\right)^2$ sind die Umlaufszeiten E, F, vollkommen genau bekannt. Da aber die Entfernungen A, B, von der Sonnen-Parallaxe abhängen (§. 121.), so entsteht daraus eine Ungewißheit für die Massen, die jedoch nicht von großer Erheblichkeit ist, und auf das Verhältniß der Dichtigkeiten keinen Einfluß hat. Nimt man nämlich die Sonnen-Parallaxe $= 8'',7$ d. i. um den 88sten Theil kleiner, also die Entfernung der Erde und aller Planeten von der Sonne (A) um eben so viel größer an, so wird auch dadurch die Masse im dreyfachen oder Kubik-Verhältniß zu groß gefunden. Die wahren Durchmesser aber sind aus der scheinbaren Größe und der Entfernung (§. 2.) berechnet, und werden gleichfals in demselben Verhältniß geändert, wie

die Entfernungen. Da sich nun die wahren Größen der Weltkörper wie die Kubikzahlen ihrer Durchmesser verhalten (§. 10.), so werden auch diese im Kubik-Verhältniß der Entfernungen größer oder kleiner, und in dem Ausdruck der Dichtigkeit, nämlich der Masse durch die körperliche Größe dividirt, nehmen Zähler und Nenner in demselben Verhältniß ab oder zu, wenn die Entfernung geändert wird: folglich behält dieser Ausdruck beständig denselben Werth, und die Sonnen-Parallaxe hat gar keinen Einfluß darauf. Die einzige Ungewißheit hiebey rührt von der Schwierigkeit her, die scheinbare Größe der Planeten genau zu messen.

Fall der Körper auf jedem Planeten.

§. 124. Der Fall der Körper auf der Oberfläche jedes Weltkörpers in 1 Sekunde, kann eben so wol als der Fall eines Planeten oder Trabanten zu seinem Zentralkörper in 1 Sekunde (§. 95.), zum Maaß der anziehenden Kraft dienen: jener ist nämlich die unmittelbare Wirkung der Attraktion des Zentralkörpers in einer Entfernung vom Mittelpunkt, die seinem Halbmesser gleich ist, so wie dieser in der Entfernung des umlaufenden Trabanten. Jener Fall wird also desto größer seyn, je größer die absolute Kraft des Zentralkörpers oder seine Masse ist, und je kleiner die Entfernung vom Mittelpunkt oder sein Halbmesser ist, und zwar nach der Newtonschen Theorie im Qvadrat-Verhältniß dieses Halbmessers. Der Fall schwerer Körper auf der Oberfläche zweyer Weltkörper verhält sich also, wie die Massen dividirt durch das Qvadrat der Halbmesser. Auf der Erde ist dieser Fall durch die Länge des Sekunden-Pendels bekannt (§. 117.), nämlich 15,625 Rheinl. Fuß. Drückt man also jede Masse durch die Erd-Masse aus (§. 121.), und jeden Halbmesser durch den Erd-Halbmesser, wovon die Qvadrate in der 2ten Kolumne der Tafel §. 11. enthalten sind, so darf man nur die Massen durch die Zahlen dieser 2ten Kolumne dividiren, und mit diesem Qvotienten den Fall auf der Erde = 15,625 multiplizi-

ren, um den Fall in 1 Sekunde auf jedem andern Weltkörper

zu haben, dessen Masse bekannt ist. Eben diese Zahlen geben dann auch das Verhältniß der Beschleunigung der jedem Weltkörper eigenthümlichen Schwere auf seiner Oberfläche, so wie der Gewichte die dieselbe Masse auf verschiedenen Weltkörpern hat.

Wenn man die Sonnen-Masse im Verhältniß zur Erd-Masse = 337086 (§. 123.) durch 11937 (§. 11.) dividirt, so erhält man den Quotienten 28,24 oder $28\frac{1}{4}$: d. h. auf der Oberfläche der Sonne drückt jeder Körper $28\frac{1}{4}$ mal stärker als auf der Erde, und jeder Körper fällt auf der Sonne in 1 Sekunde $28\frac{1}{4}$ mal so tief als auf der Erde, also $28\frac{1}{4}$ mal 15,625 oder $441\frac{1}{4}$ Rheinl. Fuß.

§. 125. Nach dieser Regel sind alle Größen, welche folgende Tafeln enthalten, berechnet, und dabey die neuesten Angaben zum Grunde gelegt, die H. La Place durch die schärfsten Rechnungen gefunden hat. Berechnung aller dieser Größen.

	Masse im Verhältniß zur Sonne	Masse im Verhältniß zur Erde	Dichtigkeit im Verhältniß zur Sonne	Dichtigkeit im Verhältniß zur Erde
☉	1	337086	1	0,25428 = $\frac{1}{4}$
☿	1 : 19504	17,283	0,89607 = $\frac{9}{10}$	0,22786 = $\frac{1}{4}$
♄	1 : 3534,08	95,382	0,40398 = $\frac{2}{5}$	0,10273 = $\frac{1}{10}$
♃	1 : 1067,09	315,893	0,9095 = $\frac{9}{10}$	0,23127 = $\frac{1}{4}$
♂	1 : 2546320	0,13238	2,92474 = $2\frac{12}{13}$	0,74372 = $\frac{3}{4}$
♁	1 : 337086	1	3,9326 = $3\frac{13}{14}$	1
♀	1 : 356632	0,9452	4,37302 = $4\frac{2}{3}$	1,112 = $1\frac{1}{10}$

	Fall der schweren Körper auf der Oberfläche in 1 Sekunde, im Verhältniß zur Sonne	Fall der schweren Körper auf der Oberfläche in 1 Sekunde, im Verhältniß zur Erde	in Pariser Fuß.
☉	1	27,933	422,142
☿	0,03453 = $\frac{1}{29}$	0,96445	14,575
♄	0,03588 = $\frac{1}{28}$	1,00223	15,146
♃	0,09186 = $\frac{1}{11}$	2,56600	38,779
♂	0,01500 = $\frac{1}{67}$	0,41893	6,331
♁	0,03580 = $\frac{1}{28}$	1	15,113
♀	0,03760 = $\frac{1}{27}$	1,05022	15,872

Der Fall von 15,113 Pariser Fuß in 1 Sekunde findet eigentlich auf der Erde unter der Polhöhe von 35°15'52'' statt. Näher am Aequator ist das Gewicht und der Fall der Körper, wegen der Rotation der Erde geringer, näher am Pol größer.

		Massen der Trabanten im Verhältniß zum Hauptplaneten	Massen der Trabanten im Verhältniß zur Erde	Dichtigkeit im Verhältniß zum Hauptplaneten	Dichtigkeit im Verhältniß zur Erde	Fall auf der Oberfläche in 1 Sek. in Pariser Fuß
Mond		1 : 68,5	1 : 68,5	0,66357 = 2/3	0,66357	2,8141
♃	I	1 : 57710	1 : 182,69	0,681 = 2/3	0,158 = 1/6	0,7768
	II	1 : 43038	1 : 136,24	1,721 = 7/4	0,393 = 2/5	1,5894
	III	1 : 11300	1 : 35,77	1,223 = 5/4	0,283 = 1/4	1,9767
	IV	1 : 23442	1 : 74,21	1,677 = 5/3	0,338 = 1/3	1,9123

Folgerungen daraus.

§. 126. Diese Tafeln geben zu sehr merkwürdigen Vergleichungen Anleitung. Man sieht daraus, daß alle Planeten zusammen 430 mal mehr Masse enthalten als die Erde, Jupiter fast dreymal mehr als alle übrige Planeten. Die Sonne ist an Masse 337086 mal reicher als die Erde, 1067 mal reicher als Jupiter, und 782 mal reicher als alle Planeten zusammen. Die Sonne, ☉ und ♃, haben fast einerley Dichtigkeit, die Erde und ♀ sind viermal so dicht, ☽ dreymal, und ♄ kaum halb so dicht. Ueberhaupt nimt die Dichtigkeit der Planeten mit der Nähe zur Sonne zu, und man könnte nach dem Verhältniß, welches vom ♄ bis zur ♀ allgemein statt zu finden scheint, schließen, daß die Dichtigkeit Merkurs 2⅔ mal größer sey als die der Erde, daß dieser Planet also, zufolge seiner bekannten Größe, nur den 1cten Theil von der Erdmasse enthalte; allein ☉, dessen Dichtigkeit die des ♄ mehr als zweymal übertrifft, macht eine auffallende Ausnahme von dieser Regel.

Auf dem ♄ ist die Schwere genau dieselbe wie auf der Erde, auf dem ☉ und der ♀ auch fast eben so groß; auf dem ♂ ist sie nur ⅔ so groß, auf dem ♃ aber 2½ mal größer, auf der Sonne sogar 28 mal. Eine unsrer 12pfündigen Kanonenkugeln würde auf der Sonne 335 Pfund wiegen, oder mit dieser Stärke drücken; und überhaupt jeder Körper fällt auf der Sonne 28 mal so schnell, und drückt 28 mal stärker als auf der Erde. Dieses mit der viermal geringeren

Dichtigkeit des Sonnen-Körpers verbunden, läst vermuthen, daß seine Natur sehr von der irdischen verschieden ist.

Aus der letzten Tafel sieht man, daß Jupiter 5823 mal so viel Masse enthält, als seine vier Trabanten zusammen, daß der IV Trabant fast eben so viel Masse als unser Mond, der III fast zweymal so viel, der II nur die Hälfte, und der I nur $\frac{1}{3}$ der Mond-Masse enthält. Ihre Dichtigkeit ist der des ♃ ziemlich gleich, sie sind ungefähr halb so dicht als der Mond, und $\frac{1}{3}$ so dicht als die Erde. Auf dem Monde ist die Schwere, und die Geschwindigkeit womit die Körper fallen, fünfmal kleiner als auf der Erde, auf den Jupiters-Trabanten 8 bis 20 mal kleiner. Unter allen uns bekannten Weltkörpern ist die Schwere auf dem I Trabanten am geringsten, und die Körper fallen dort nur 9 Zoll in 1 Sekunde. Allein diese letztern Angaben sind sehr unzuverläßig, weil sie sich auf die Größe der Jupiters-Trabanten gründen, die sehr schwer mit Genauigkeit zu messen ist (§. 16.). Ihre Massen hingegen, die aus der Ungleichheit ihrer Bahnen bestimmt werden, sind dieser Ungewißheit nicht unterworfen.

Absolute Einheit dieser Größen.

§. 127. Durch die in obigen Tafeln enthaltenen Zahlen lernen wir nicht die Größen selbst kennen, sondern ihre Verhältnisse. Wir erfahren, daß die Sonne 337086 mal so viel Masse enthält als die Erde; aber da uns die letztre unbekannt ist, so ist es auch die erstre. Wir wissen, daß, wenn die Sonne abgewogen werden solte, 337086 Erdkugeln als Gegen-Gewicht in die andre Wagschale gelegt werden müsten; aber nicht, wie viel Kugeln einer uns bekannten Materie, wie viel Kubikmeilen Gold oder Bley, wie viel Millionen 24 pfündiger Kanonenkugeln, ꝛc. Wir sehen, daß die Erde im Durchschnitt aus einer Materie besteht, die viermal dichter als die Materie der Sonne gleichfals im Durchschnitt genommen, ist; aber wir können nicht sagen, ob die Materie des einen oder des andern Weltkörpers dichter als Demant, oder lockrer als Kork sey. Die Erde kann ungeheure leere Schlünde in ihrem

Innern haben, oder aus einem soliden Kern bestehn, der dichter als Gold ist. Von allem diesem wissen wir nichts: denn durch alles unser Wühlen in der Erde haben wir kaum den Unrath weg geschaft, den neuere Revolutionen auf ihrer Oberfläche angesetzt hatten; wir haben nur eben den Staub von dem Körper abgeblasen, dessen chemische Analyse nicht in unsrer Gewalt ist; und was wir vom Innern der Erde kennen, ist nicht mehr als der blaue Reif der eine Pflaume bedeckt. Die einzige absolute Zahl, die obige Tafeln enthalten, ist der Fall der Körper in 1 Sekunde auf der Erde und jedem andern Weltkörper; allein dies kann uns so wenig zur absoluten Bestimmung der Massen führen, als der bekannte Fall des Monds in seiner Bahn um die Erde, oder der Erde in ihrer Bahn um die Sonne. Wir befinden uns also in dem Fall, worin die Astronomen in der Zeit zwischen Kepler und der Bestimmung der Sonnen-Parallaxe durch die Vorübergänge der Venus, in Absicht auf die Größe des Sonnen-Systems waren. Durch die Keplerschen Gesetze waren bloß die Verhältnisse der Entfernungen, aber nicht die Entfernungen selbst bekannt; und so wie hier eine einzige absolute Größe, die Sonnen-Parallaxe, hinlänglich war, alle übrigen vermittelst jener Verhältnisse zu bestimmen, so würde auch eine wirklich gemessene Masse oder Dichtigkeit zugleich alle übrigen, vermittelst obigen Tafeln bestimmen.

Es gibt in der That eine Art von Beobachtungen, die, wenn sie in größerer Menge mit Sorgfalt angestellt werden, zur Kenntniß eines solchen absoluten Maaßes führen, und für die physische Astronomie das werden können, was die Bestimmung der Sonnen-Parallaxe für die theorische war. Wenn man einen Körper von bekannter Größe und Materie so weit von der Erde entfernen könnte, daß seine Attraktion sich nicht mit der der Erde vermischte, so würde unstreitig die Vergleichung beyder Attraktionen das Verhältniß beyder Massen geben, folglich die Erdmasse durch eine bekannte Materie aus-

drücken. In einem ähnlichen Fall befinden wir uns wirklich in der Nähe eines sehr hohen Berges, der jeden Körper nach seinem Schwerpunkt zieht, so wie die Erde nach ihrem Mittelpunkt; und das Verhältniß beyder Anziehungen wird am besten durch ihre Wirkung auf ein frey hängendes Gewicht, ein Senkbley, bestimmt. Wenn man einen Stern im Meridian, einmal an der nordlichen, einmal an der südlichen Seite eines Berges, nahe an seinem Fuß beobachtet, so wird das Senkbley des Quadranten aus der vertikalen Lage (die die Wirkung der Anziehung der Erde ist), durch die Attraktion des Berges, um einen kleinen Winkel von einigen Sekunden abgelenkt werden, und zwar im ersten Fall nach Süden, im zweyten um eben so viel nach Norden: die beobachtete Höhe des Sterns wird um eben diesen kleinen Winkel, im einen Fall zu klein, im andern zu groß werden; der halbe Unterschied beyder Höhen ist also die Wirkung der Attraktion des Berges, und dies gibt das Verhältniß der anziehenden Kraft der Erde und des Berges. Nun braucht man nur die Größe des Berges, und die Materie aus der sein Innres besteht, zu untersuchen, um die Masse und Dichtigkeit der Erde im Verhältniß zu der des Berges zu berechnen. Da nun diese letztre bekannt ist, so ergibt sich daraus auch die erstre.

Masse und Dichtigkeit in absoluten Zahlen.

§. 128. Schon Bouguer und Condamine bemerkten in Süd-Amerika, daß das Loth des Quadranten am nordlichen Fuß des Chimboraßo, des höchsten Berges der Welt, von der Lage die es am südlichen Fuß hatte, um 8″ abwich, so daß die Masse des Berges das Loth um 4″ aus der vertikalen Lage zog. Genauere Beobachtungen hierüber stellte H. Maskelyne am Berge Shehallien in Schottland an, wo alle günstigen Umstände zusammen kamen. Dieser Berg besteht aus einem gleichförmigen dichten Granit, steht ganz einzeln, ist sehr hoch, hat eine große Masse von Ost nach West, und doch nur eine geringe Basis von Norden nach Süden, daher die Entfernung und Lage beyder Beobachtungs-

Oerter leicht bestimmt werden konnte. Nun fand sich, daß die beyden entgegen gesetzten Lagen des Senkbleys um fast 12″ verschieden waren, folglich dasselbe durch die Attraktion des Berges um 6″ aus der vertikalen Lage gerückt ward. Durch eine genaue Rechnung, bey der auf alle Lokal-Umstände Rücksicht genommen ward, folgte hieraus, 1) daß die Dichtigkeit der ganzen Erde zu der des Berges sich wie 9 zu 5 verhält, 2) daß der ganze Berg aus einem gleichförmigen Granit besteht, der $2\frac{1}{2}$ mal dichter oder spezifisch schwerer als Wasser ist, daß also 3) die mittlere Dichtigkeit der Erdkugel $\frac{9}{5}$. $2\frac{1}{2}$ mal oder $4\frac{1}{2}$ mal größer als die des Wassers ist: womit auch die Beobachtungen in Süd-Amerika überein zu stimmen scheinen.

Dies gäbe also ein Universal-Maaß oder eine absolute Einheit für die ganze physische Astronomie; und es ist sehr merkwürdig, daß nach diesen Beobachtungen, die spezifische Schwere oder Dichtigkeit der ganzen Erdkugel, als eine gleichförmige Masse betrachtet, aufs genaueste mit der Dichtigkeit des reinen Magnets überein kömmt, worin diejenigen die annehmen, daß die eigentliche Erdkugel aus einem großen magnetischen Kern bestehe, eine starke Bestätigung ihres Systems finden werden. Dieser magnetische Kern machte dann den eigentlichen Bestandtheil der Erde aus, und Gold, Eisen, Wasser, ꝛc. wären nur auf der Oberfläche hingeworfene Späne, oder Fragmente der äußern Rinde, die auf die spezifische Schwere des ganzen Körpers um so weniger Einfluß haben können, da sie durch Hölen und leere Räume ersetzt werden.

Der Erd-Körper, als gleichförmige Masse betrachtet, besteht demnach aus einer Materie, die spezifisch genau so schwer als der Magnet, 4 mal leichter als Gold, halb so schwer als das reinste Kupfer, 2 mal so schwer als Kreide, $\frac{9}{5}$ mal so schwer als Kiesel, Krystall und Granit, $\frac{9}{7}$ mal so schwer als Demant und Saphir, 3 mal so schwer als schwarze Erde, 4 mal so schwer als Eichenholz, und $4\frac{1}{2}$ mal so schwer als Wasser ist. Die Erdkugel enthält also $4\frac{1}{2}$ mal so viel Masse, oder

wiegt $4\frac{1}{2}$ mal so schwer, als eine Wasserkugel von der Größe der Erde, d. i. von 2660 Millionen Kubik-Meilen (§. 12.), welches viertehalb Qvadrillionen Pfund beträgt.

Diese absoluten Zahlen lassen sich nun leicht auf die übrigen Weltkörper übertragen (§. 125.). Die Sonne, viermal lockrer als die Erde, ist etwas dichter als unser Wasser, und hat ungefähr die spezifische Schwere der Steinkohlen, des Pechs, und des Eichenholzes. Uranus und Jupiter sind nicht völlig so schwer als Bernstein, Saturn nicht zweymal so schwer als Korkholz. Mars ist fast von der Dichtigkeit und Schwere des Demants, Venus ist etwas dichter als Magnet, und Merkur, wahrscheinlich der dichteste Körper unsers Sonnen-Systems, würde etwas schwerer als Silber und Bley seyn. Unser Mond wäre ungefähr von der Dichtigkeit des reinsten weißen Glases.

Meinungen der Alten von der allgemeinen Schwere.

§. 129. Wenn man bedenkt, durch was für leichte Schlüsse wir zur Erkenntniß der allgemeinen Schwere gelangt sind, und wie unbegreiflich die Bewegung der Weltkörper ohne dieselbe seyn würde, so wird man sich vielleicht wundern, daß diese Entdeckung erst vor etwas mehr als 100 Jahren gemacht ist. Allein es verhält sich hiemit wie mit Koperniks Entdeckung des wahren Welt-Systems: Jahrtausende vor ihm hatte man die Wahrheit gefühlt, aber niemand hatte sie geometrisch bewiesen.

Schon Aristoteles erklärt die kugelrunde Gestalt der Weltkörper aus der Schwere aller ihrer Theile zum Mittelpunkt (*); und die allgemeine Schwere war ein Grundsatz der Epikurischen Philosophie, woraus Lukretz sogar den Schluß zieht, daß die Welt keine Gränzen habe, weil sonst die äußersten Körper, nicht mehr nach außen gezogen, durch ihre

---

(*) *De coelo*, II. 14.

Schwere nach dem Mittelpunkt getrieben werden würden (*). Diesen Einwurf beantwortete Anaxagoras im Newtonschen Geist dadurch, daß jeder Weltkörper durch seine Bewegung im Kreise (die Wurfs-Geschwindigkeit) gehindert werde, zum Mittelpunkt zu fallen (**), und Plutarch gibt eben diesen Grund an, warum der Mond, unerachtet seiner Schwere, nicht auf die Erde falle (***). Daß man sich in dem finstern Zeitalter vom 4ten Jahrhundert bis zur Herstellung der Wissenschaften nicht um die physische Astronomie bekümmerte, war zu erwarten; aber schon Kopernik, der die Alten so fleißig studirt hatte, nahm die Aristotelische Erklärung der sphärischen Figur der Weltkörper an. „Meiner Meinung nach," sagt er (****), „ist die Schwere nichts anders, als eine gewisse natürliche Sehnsucht zu einander, womit der Schöpfer „die Körper begabt hat, damit sie sich zu einem Ganzen ver„einigen, und die Kugel-Gestalt annehmen. Durch diese Kraft „sind die Sonne, der Mond, und die Planeten Kugeln". Kepler dehnte die Schwere sogar auf die Anziehung der Weltkörper gegen einander aus, und wandte sie besonders auf die Zentralkraft der Erde an, die den Mond in seiner Bahn hält (*****). „Jede zwey sich selbst überlassene Körper, zwey „Steine an irgend einer Stelle des Weltraums, außer der „Sphäre der Kraft eines dritten Körpers, würden sich gleich „magnetischen Körpern vereinigen, indem sich jeder dem andern „im verkehrten Verhältniß der Massen nähert (also im gemeinschaftlichen Schwerpunkt (§. 110.)): „die Erde würde sich „um den 54sten Theil der Entfernung des Mondes zu ihm „erheben, und der Mond um 53 Theile zu ihr herab fallen"

(*) *De rer. nat.* I. v. 983.
(**) *Diog. Laert. in Anaxag.*
(***) *De facie in orbe lunae*, p. 652. ed. Reiske.
(****) *De revol. orb. coelest.* I. 9.
(*****) *De stella Mart.* Introd.

(er nahm nämlich die Masse des Monds zu $\frac{1}{82}$ von der Erdmasse an), „und da" (im gemeinschaftlichen Schwerpunkt) „würden sie zusammen fallen. Wenn die anziehende Kraft der „Erde vernichtet würde, so würde ihr Meer zum Monde fließen. Die anziehende Kraft des Monds äußert sich auf die „Erde durch die Ebbe und Flut: um so mehr wird sich also „die anziehende Kraft der Erde weit jenseit des Monds ausdehnen ꝛc.".

Kurz vor Newton lehrte sein Zeitgenosse und Landsmann Hook, „daß alle Weltkörper nicht bloß gegen ihren Mittelpunkt, sondern auch gegen einander schwer sind, daß jeder „Körper sich in gerader Linie gleichförmig bewegen müsse, wenn „er nicht durch Kräfte abgelenkt, und gezwungen wird, eine „Ellipse oder andre krumme Linie zu beschreiben, und daß die „Attraktion jedes Körpers in geringerer Entfernung stärker „wirke, ꝛc. Allein Newton war der erste, der diesen Gegenstand der Rechnung unterwarf, ihn mit geometrischer Strenge und Gründlichkeit behandelte, und dadurch seine großen Entdeckungen machte, denen Hook so nahe war.

Bemerkungen über die allgemeine Gravitation.

§. 130. Diese allmächtige Kraft die das ganze Weltall belebt, und durch ein gemeinschaftliches Band die äußersten Theile desselben in Verbindung setzt, ist zugleich das räthselhafteste Wesen; und jeder den diese Materie interessirt hat, wird eine Menge Fragen aufwerfen, wovon nicht eine zu beantworten in unsrer Macht steht. Das Daseyn dieser Kraft, ihre ewig und allerwärts wirksame Thätigkeit, zeigt sich uns in jedem Augenblick in allen Theilen der Natur; und wir können ihre Wirkungen, besonders auf dem großen Felde der Sternkunde, mit der schärfsten Genauigkeit berechnen. Allein hierauf müssen wir uns, nach Newtons Beyspiel, einschränken, und uns, wenn wir nicht weiter in das Wesen dieser Kraft eindringen können, damit trösten, daß wir eben so wenig begreifen, auf welche Art unsre Sele auf den Körper wirkt und die Eindrücke der Sinne empfängt, wie überhaupt ein Körper

dem andern seine Bewegung mittheilt oder in ihn wirkt; wir müssen nicht vergessen, daß die ersten Grundfäden, aus denen das Gewebe welches wir die Natur nennen, gesponnen ist, für unsre Geisteskräfte zu fein, und mit einem undurchdringlichen Schleyer bedeckt sind, und daß wir hier wenigstens sehr nahe bis zu einem solchen Faden gekommen sind, der viel feiner ist und sich viel weiter ausdehnt, als die bisher erklärten Phänomene allein beweisen würden. Schon Newton bemerkte, daß außer der allgemeinen Gravitation, die in keine Gränzen eingeschlossen ist, und sich bis zu jeder Entfernung im umgekehrten Verhältniß ihres Quadrats ausdehnt, noch eine andre Attraktion in der Natur eine große Rolle spielt, die nur in unendlich kleinen Entfernungen, oder bey der innigsten Berührung merklich, und zwar in einem sehr hohen Grade merklich wird, bey der geringsten sichtbaren Entfernung aber verschwindet. Jene ist von der Natur bestimmt, aus dem Chaos Sonnen und Planeten-Kugeln zu bilden, und ihre Bewegungen zu leiten; diese, um aus dem rohen Stoff jedes Weltkörpers seine vegetabilische, animalische, und chemische Natur zu bearbeiten, und die innre Struktur der einzelnen Körper, so wie den Kreislauf ihrer Säfte zu ordnen. So wie diese Elementar-Attraktion bey großen Entfernungen verschwindet, und nur im Innern der Körper thätig ist, so wird jene bey Massen von geringer Größe unmerklich. Zwey Steine, selbst bis zur Berührung einander genähert, äußern keine Anziehung auf einander, sondern lassen sich ohne den geringsten Widerstand trennen, weil wegen ihrer geringen Massen ihre Gravitation gegen die Wirkung der ganzen Erde verschwindet, ihre Entfernung aber, selbst bey dem was uns Berührung scheint, noch zu groß ist, als daß die Elementar-Attraktion sich äußern könnte, indem wegen der rauhen Oberfläche nur einzelne hervor ragende Spitzen zur wirklichen Berührung kommen; so bald aber die Oberfläche vollkommen glatt ist, wie wenn zwey Spiegel auf einander gelegt werden, so fängt die Elementar-

Attraktion an, ihre Wirkung zu äußern, die bey einer noch innigeren Berührung, bey der wirklichen Zusammensetzung der Körper, eine fast unglaubliche Stärke erhält, und die Quelle unzähliger Erscheinungen in der Natur wird. Der Zusammenhang fester und flüssiger Körper, ihre chemischen Affinitäten, das Steigen und Fallen der Flüssigkeiten in den Haarröhrchen, das Schwimmen sehr dünner metallener Körper auf dem Wasser, das Anhängen der Flüssigkeit an andre Körper, welches wir ihr Benetzen nennen, die konkave und konvexe Oberfläche des Queckſilbers im Barometer, die Stralenbrechung, ꝛc. sind Wirkungen dieser Elementar-Attraktion.

So verschieden diese beym ersten Anblick von den Wirkungen der Gravitation scheinen, so würde man sich doch vielleicht irren, wenn man daraus zwey verschiedene Kräfte machen wolte: vielleicht sind beyde nur Modifikationen derselben Kraft, und bloß durch die Umstände verschieden, unter denen sie wirken. Die geringe Kenntniß die wir von der innern Struktur der Erde haben, kann uns schon überzeugen, daß sich unzählige leere Zwischenräume in ihr befinden; und so wird jeder einzelne Körper, der eine Anhäufung von Masse ohne merkliche Zwischenräume ist, eine Dichtigkeit haben, welche die der ganzen Erde unendlich übertrifft: daraus wird es dann begreiflich, daß z. B. die Lichtstralen, obgleich die Schwere nicht auf sie wirkt, oder die Gravitation der Erdkugel selbst sie nicht von ihrem Wege ablenkt, doch bey ihrer Berührung einzelner Körper gebrochen werden. Auf ähnliche Art kann man wider jeden einzelnen Körper als einen Weltkörper für sich ansehn, der aus unzähligen Elementen, einzelnen kleinen Massen besteht, die durch große Zwischenräume getrennt sind, folglich eine ungleich größere Dichtigkeit haben müssen, als der ganze Körper. Diese ungeheure Dichtigkeit bewirkt die Elementar-Attraktion, die sich bey der innigsten Berührung in so hohem Grade zeigt; so wie aus der äußerst kleinen, in einen Punkt zusammen gedrängten Masse folgt, daß die ge-

ringste merkliche Entfernung den Halbmesser eines solchen Elements, oder die Entfernung bey wirklicher Berührung, unendlich übertrifft, mithin die Elementar-Attraktion verschwindet, so wie die Störung, die Merkur in der Bewegung des Uranus anrichtet, gegen die Gravitation der Sonne unmerklich ist.

Wenn wir aber auch annehmen, daß es nur eine Kraft ist, welche die fernsten Weltkörper an einander zieht, und welche im Innern jedes auch des kleinsten Körpers so große physische und chemische Wirkungen verursacht, so könnte es doch wol seyn, daß beyde nur besondre Modifikationen einer höheren Kraft sind, und daß diese höhere Kraft nicht die Gravitation selbst, sondern uns noch ganz unbekannt ist (§. 77.). Zwar ist der Einwurf, daß das Gesetz dieser Kraft, das Quadrat-Verhältniß der Entfernungen, noch zu verwickelt sey, als daß man die Gravitation für eine der wesentlichen Eigenschaften der Körper, so wie ihre Undurchdringlichkeit, ꝛc. annehmen könnte, von keiner Erheblichkeit: denn daß jede Kraft die in einer Entfernung wirkt, mit der Entfernung schwächer werden müsse, versteht sich wol von selbst, und wir haben oben (§. 102. 103.) gezeigt, daß das Quadrat-Verhältniß mehr in der Natur der Sache gegründet zu seyn scheint, als jedes andre Verhältniß. Wie aber überhaupt ein Körper auf einen entfernten wirken könne, ohne daß zwischen ihnen ein Verbindungsmittel ist, wie ein Körper da thätig seyn könne, wo er nicht existirt, dies werden wir freylich nie begreifen können; es scheint sogar, daß, wenn dies möglich ist, die größere oder geringere Entfernung darauf gar keinen Einfluß haben könne. Aus diesem Grunde war Newton schon geneigt, den Weltraum mit einer Materie an zu füllen, die durch ihre schnelle Kreis-Bewegung die Körper zu einander treibt, so daß vielleicht die Gravitation nicht eine Attraktion sondern eine Impulsion, nicht eine Ur-Kraft sondern die Wirkung einer höheren Kraft wäre. Nur müste freylich diese Materie von einer Feinheit seyn, die alle unsre Begriffe übersteigt, weil sonst die

Weltkörper die darin schwimmen, einen Widerstand ihrer Bewegung leiden müsten, der sich durch die Verkürzung ihrer Bahnen äußern würde, und doch bisher für die feinsten Beobachtungen unmerklich gewesen ist.

Noch eine Frage könnte man hier aufwerfen, die wir eben so wenig beantworten können, ob nämlich die Gravitation in einem Augenblick, oder durch allmälige Fortpflanzung von einem Weltkörper zum andern wirke. Auch vom Licht glaubte man ehemals, daß es das Universum in einem Augenblick durchströme, und doch kennen wir jetzt die Geschwindigkeit seiner Bewegung sehr genau. Es ist gewiß, daß aus dieser allmäligen Fortpflanzung eine Beschleunigung der mittlern Bewegung der Weltkörper entstehn müste; und da diese ganz unmerklich ist, so läst sich berechnen, daß die Fortpflanzung der Gravitation mit einer Geschwindigkeit geschehen müste, welche die des Lichts wenigstens zehn Millionen mal übertrifft, so daß sie von der Sonne bis an die äußersten Gränzen ihres Gebiets (400 Halbmesser der Erdbahn (§. 29.)), im 50sten Theil einer Sekunde, also wirklich in einem für uns unmerklichen Augenblick gelangen würde.

Doch wir haben uns vielleicht schon zu lange bey solchen Spekulationen aufgehalten, und es sind noch viele Wirkungen der allgemeinen Gravitation über, die ein näheres Interesse für die Astronomie haben.

Dritter Abschnitt.

Von den gegenseitigen Störungen der Weltkörper.

Erstes Kapitel.

Das Problem der drey Körper.

Allgemeine Betrachtungen.

§. 131. Die Ueberschrift dieses Abschnitts wird solchen Lesern, denen es nicht gleichgültig ist, im Glauben an Wahrheit, Ordnung, Gerechtigkeit, und weise Regierung, in der physischen wie in der moralischen Welt irre zu werden, unangenehme Zweifel erregen, die aber der Abschnitt selbst hoffentlich auf eine befriedigende Art lösen wird. Nach dem zweyten Abschnitt, herrscht über die ganze Körperwelt ein allgemeines Gesetz, welches Ordnung und Schönheit bis an die fernsten Gränzen des Weltalls verbreitet, welches Planeten, Kometen, und Monde, welches Sonnen-Systeme und Milchstraßen, in nie gestörten elliptischen Bahnen um ihren Brennpunkt treibt; und hier sollen wir die Störungen kennen lernen, die alle diese Bewegungen leiden, hier sollen wir uns von der Bewundrung der einfachen Schönheit und der vollkommenen Ordnung entwöhnen, um die mühsame und kleinliche Berechnung der Reparaturen vor zu nehmen, die das Welt-

gebäude von Zeit zu Zeit bedarf? Was soll man von einem Welt-System denken, das Störungen oder Zerrüttungen unterworfen ist, und welchen Namen verdient ein Natur-Gesetz, das so viele Ausnahmen als Regeln hat?

Diese Einwürfe waren noch vor einem halben Jahrhundert wenigstens zum Theil unwiderleglich, und man war nicht abgeneigt, das Gesetz selbst zu ändern, um den Ausnahmen aus zu weichen. Glücklicherweise lassen sie sich jetzt, ohne irgend eine neue Hypothese, auf die befriedigendste Art beantworten; und diese Beantwortung, die der höchste Triumph der neuern Analyse ist, besteht mit wenigen Worten in folgendem. Die so genannten Störungen der planetarischen oder elliptischen Bewegung sind keine Ausnahmen von dem Newtonschen Gesetz, sondern nothwendige Folgen desselben, die Newton zum Theil schon selbst daraus hergeleitet hatte: sie sind ferner eben so wenig wahre Störungen, als die monatliche Bahn des Monds um die Erde eine Störung seines jährlichen Umlaufs um die Sonne ist, sondern durch eine höchstweise Einrichtung der Natur, nur unbedeutende Digressionen oder Schwankungen, die auf die Schönheit und Ordnung des Ganzen keinen schädlichen Einfluß haben, weil sie sich nicht anhäufen, sondern nach einer bestimmten Zeit sich gegenseitig ersetzen, so daß alles wider in den ursprünglichen Zustand zurück trit, ohne je die Gränzen überschreiten zu können, die der Urheber der Natur dem Werk seiner Hände vorgezeichnet hat. Sie sind endlich der stärkste Beweis von der Wahrheit und Allgemeinheit des Newtonschen Gesetzes der Attraktion, dem wir hauptsächlich die großen Fortschritte verdanken, die die mathematischen Wissenschaften in den neuern Zeiten gemacht haben.

Ursache der Störungen.

§. 132. Wir haben im vorhergehenden Abschnitt gesehen, daß alle Planeten um die Sonne, so wie die Trabanten um ihren Haupt-Planeten, ewig dieselben Ellipsen beschreiben müssen, wenn bloß eine Kraft auf sie wirkt, die beständig nach dem Zentralkörper gerichtet ist, und dem verkehrten

Verhältniß der Qvadrate der Entfernungen folgt; wir haben bewiesen, daß die Attraktion der Sonne auf den Planeten nicht wirken kann, ohne daß dieser nach Verhältniß seiner Masse auf sie zurück wirkt (§. 107. 108.); wir haben endlich gefunden (§. 111 — 114.), daß diese gegenseitige Attraktion die elliptische Bewegung zwar ändert, aber auf keine Weise stört. Allein, wenn es einmal bewiesen ist, daß Jupiter und Saturn die Sonne an sich ziehen, so folgt nichts natürlicher, als daß sie die übrigen Planeten, die ihnen oft weit näher als die Sonne sind, daß sie besonders einander mit noch stärkerer Kraft an sich ziehen müssen. Hier öffnet sich also eine ganz neue Ansicht: es ist nicht mehr der Zentralkörper und der umlaufende Planet, die gegenseitig auf einander wirken; es ist ein dritter Körper der sich in ein ihm fremdes Verhältniß einmischt, und das elliptische Band zu zerreißen oder enger zusammen zu ziehn strebt, welches jene beyden Körper für die Ewigkeit umschlungen hat. Dieses Eindringen einer fremden Kraft ändert natürlich nicht allein die Richtung, sondern auch die Stärke der Zentralkraft, nachdem z. B. Jupiter mit der Sonne nach derselben oder der entgegen gesetzten Richtung, oder nach der Seite hin zieht; und es ist leicht voraus zu sehn, daß die Keplerschen Gesetze, die sich auf die Unveränderlichkeit der Richtung der Zentralkraft und ihr bestimmtes Verhältniß gründen, dadurch gestört werden müssen. Die Sache wird noch verwickelter, wenn man bedenkt, daß z. B. die Erde nicht bloß vom Jupiter, sondern zugleich vom Saturn, von der Venus, ꝛc. nach verschiedenen Seiten gezogen wird, die nur selten mit der Richtung der Zentralkraft zusammen fallen, und auch dann, zwar nicht ihre Richtung, aber doch die bestimmte Stärke derselben, die zur elliptischen Bewegung erfodert wird, ändern.

Es folgt aus allem diesem, daß der im zweyten Abschnitt angenommene Fall, daß jeder Planet bloß von der Sonne angezogen werde, eigentlich nie in der Natur vorkömmt; und

so scheint es, daß auch alle daraus hergeleiteten Schlüsse (die Keplerschen Gesetze), nicht die Ordnung der Natur, sondern unsre eigene Erfindung sind, und daß die ganze Astronomie, gleich so vielen andern Gebäuden unsrer Einbildungskraft, über den Haufen fällt, so bald die Natur genauer befragt wird. In der That befindet sich jeder Weltkörper in dem Fall, daß er nicht bloß von der Sonne, sondern von allen übrigen Weltkörpern, nach demselben Gesetz, und nach Maßgabe ihrer verschiedenen Massen und Entfernungen angezogen wird. Keine besondre Sympathie bindet ihn an die Sonne, sondern es hängt lediglich vom Zufall, oder von der ursprünglichen Lage in die ihn der Schöpfer versetzte, ab, ob er Komet, Planet, oder Mond, ob er der Trabant des Sirius, der Sonne, oder des Jupiters wird, oder ob er sich andrer als Satelliten bemächtigt. Es geht am Himmel, wie auf dem politischen Schauplatz unsers kleinen Erdballs her, nur daß dort die höhere Hand die im Spiel ist, sich deutlicher zeigt als hier: der grösste und nächste Körper reißt die kleineren an sich, und unterwirft sie seiner Herrschaft; allein wenn wir nun gleich berechtigt sind, ihn ihren Zentralkörper zu nennen, so hören doch dadurch die Einwirkungen der übrigen Weltkörper nicht auf, und aus diesen Einwirkungen entstehen die kleinen Aendrungen der elliptischen Bewegung, die man in der Astronomie Störungen oder Perturbationen nennt, und die, wie es scheint, die Keplerschen Gesetze ganz über den Haufen werfen.

Ihre unbedeutende Größe.

§. 133. Dieser, wenn man so sagen darf, bedenkliche Zustand des Welt-Systems ist in der Theorie vollkommen gegründet; allein es folgt daraus nicht, daß er in der Natur wirklich statt finde. Wir werden vielmehr in der Folge sehn, daß die Natur diesen Zustand, der unter unzähligen Umständen wirklich hätte eintreffen können, und den der bloße Zufall mehr als einmal herbey geführt haben würde, mit mütterlicher Sorgfalt vermieden hat; und es ist vielleicht nichts was uns so sehr davon überzeugen kann, daß die Welt nicht das

Werk des blinden Zufalls oder der eisernen Nothwendigkeit, sondern einer weisen Regierung ist. Solte die Welt nicht von ephemerischer Dauer seyn, so musten die Weltkörper Umläufe um einander machen, folglich nach bestimmten Gesetzen einander anziehen, und diese Anziehung muste der Natur der Sache nach gegenseitig seyn. Diese allgemeine Attraktion war ein zur Erhaltung des Ganzen nothwendiges Natur-Gesetz, und nun war es dem Schöpfer selbst nicht möglich zu hindern, daß jeder Körper, außer von dem ihm angewiesenen Zentralkörper, auch von allen übrigen angezogen werde, weil dies den offenbaren Widerspruch einschließen würde, daß ein allgemeines Gesetz zugleich nicht allgemein ist. Nur das hing von seinem Willen ab — und wer im Stande ist, sich einen Begrif von der Sache zu machen, wird gestehn, daß unendliche Macht und Weisheit dazu gehörte — die unzähligen Kombinationen von Umständen so zu ordnen, jedem der unzähligen Körper des Universums gerade eine solche Masse und Entfernung von allen übrigen an zu weisen, daß das Durchkreutzen aller Kräfte nach allen möglichen Richtungen selbst im Lauf der Ewigkeit keine Zerstörung, Zerrüttung oder Unordnung anrichten kann: und daß diese weise Einrichtung im großen wie im kleinen wirklich getroffen ist, das lehrt uns das Studium der Natur, das lehren uns die astronomischen Beobachtungen, auf eine Art die dem Fühllosesten Bewundrung einflößen muß. Wenn der Mond viermal weiter von uns entfernt wäre, so würde er nicht mehr um die Erde laufen, und die Attraktionen die die Sonne und Erde auf ihn äußerten, würden sich so vollkommen die Wage halten, daß seine wahre Bahn kaum einer Berechnung fähig seyn würde. Allein im ganzen Welt-System, so weit wir es kennen, kömmt kein einziger ähnlicher Fall vor: alle Massen sind in solchen Entfernungen von einander vertheilt, daß unerachtet jener Störungen, die von unzähligen Wirkungen hervor gebracht werden, doch jeder Weltkörper ruhig um seinen Zentralkörper fort läuft, und trotz

der kleinen Digressionen die er bald nach dieser bald nach jener Seite macht, seine Bahn, oder vielmehr die Linie die sich durch die Mitte aller jener Epizykel ziehen läst, immer eine Ellipse bleibt, die sich kaum merklich ändert.

§. 134. Alle Perturbationen, denen jeder Weltkörper auf seiner Wanderschaft durch die Wirkungskreise benachbarter Planeten ausgesetzt ist, auf eine direkte Art und in gröster Schärfe zu berechnen, ist ein Problem, dessen Auflösung vielleicht die Kräfte endlicher Geister übersteigt. Selbst bey der indirekten Methode, welche nur durch die im vorigen §. erwähnte glückliche oder weise Einrichtung der Natur möglich wird, und die am Ende doch nur auf eine Näherung führt, bleibt diese Rechnung das schwerste, was der Analyse je gelungen ist; und hundertjähriger Fleiß muste vorher gehn, die Rechnung des Unendlichen muste erfunden und zur höchsten Vollkommenheit gebracht werden, und alle Hülfsmittel des Genies musten aufgeboten werden, ehr man dieses wichtige Problem, von dessen vollständiger Auflösung wir noch jetzt weit entfernt sind, nur als einigermaßen beantwortet ansehen konnte. Für den denkenden Leser, dem es vergönnt ist, den Nektar aus Uraniens Schale zu trinken, ohne sich durch die Dornenhecken von mühsamen fast kleinlich scheinenden Beobachtungen, und von trocknen den Geist abstumpfenden Rechnungen durch gearbeitet zu haben, kann kein höherer Genuß seyn, als von der Anhöhe die er selbst erstiegen hat, oder zu der er durch fremde Hülfe empor gehoben ist, einen allgemeinen Ueberblick auf die Krümmungen des Fußsteigs, den die Erfinder und Anbauer der Wissenschaft langsam durchwandern musten, und auf die Krücken, durch die sie sich bey jedem Schritt weiter halfen, zu werfen. Diese Krücken bestehen vorzüglich in folgenden Voraussetzungen, die nicht in aller Strenge richtig sind, und nur bey der wirklichen Einrichtung der Natur, wenn sie mit der grösten Vorsicht gebraucht werden, nahe zur Wahrheit führen.

Berechnung derselben.

1) Obgleich jeder Planet in der That den Störungen unzähliger Weltkörper ausgesetzt ist, so kann man doch jede dieser Wirkungen von den übrigen trennen, und so eine nach der andern berechnen. Die Wirkung die jeder Planet auf einen andern äußert, hängt natürlich von ihrer gegenseitigen Stellung ab, die aus ihrer elliptischen Bewegung für jeden Augenblick bekannt ist, und sie muß für jede Stellung besonders berechnet werden. Es ist wahr, daß durch die Wirkung Jupiters der elliptische Ort der Erde geändert wird, und so scheint es, daß man Saturns Wirkung, die von dieser Stellung abhängt, nicht berechnen kann, ohne Jupiters Wirkung mit in Rechnung zu ziehn; ja es scheint sogar nothwendig, die Störungen die Jupiter und Saturn selbst leiden, mit in die Rechnung zu bringen, weil dadurch ihre Stellung gegen die Erde geändert wird, wovon ihre Wirkung auf dieselbe abhängt. Allein die Perturbationen sind glücklicherweise so geringe, daß sie sich mehrentheils nur um wenige Sekunden ändern, wenn die Stellung selbst um ganze Grade verrückt wird, so daß man, um die Wirkung irgend eines Planeten zu berechnen, nicht allein von den Wirkungen aller übrigen abstrahiren, sondern auch ohne Gefahr die nach den Keplerschen Gesetzen berechneten Stellungen dabey zum Grunde legen kann. Hieraus folgt also, daß dieses Problem, welches beym ersten Anblick so verwickelt scheint, sich immer auf den einfachen Fall zurück führen läst, da nur ein Planet den andern in seiner Bahn stört, so daß überhaupt nur drey Körper in Betracht kommen, die sich nach dem Newtonschen Gesetz, d. i. dem Verhältniß der Massen und dem verkehrten der Quadrate der Entfernungen gegenseitig anziehn, nämlich der Zentralkörper, der gestörte Planet, und der störende. Man nennt daher die Berechnung der Perturbationen das Problem der drey Körper, und selbst unter dieser einfachen Gestalt sind wir nicht im Stande, es vollständig und allgemein auf zu lösen; auch hier können wir uns nur durch Näherungen helfen.

Problem der drey Körper.

2) Es folgt ferner daraus, daß der Grund der ganzen Rechnung die elliptische Bewegung nach den Keplerschen Gesetzen bleibt, die aus der theorischen Astronomie vollkommen bekannt ist, und für welche, aus der Wirkung jedes einzelnen Planeten, kleine Korrektionen oder Gleichungen berechnet werden. Man sieht, daß dies ganz der nämliche Gang ist, den wir in der theorischen Astronomie befolgt haben. So wie dort, aus tausendjährigen Beobachtungen, ohne Hülfe irgend einer Hypothese, die mittlere Bewegung als bekannt voraus gesetzt, und für jeden mittlern Ort die elliptische Gleichung nach den Keplerschen Gesetzen berechnet ward, so wird hier dieser elliptische Ort statt des mittlern angenommen, und für jede elliptische Stellung zweyer Planeten gegen einander, die physische Gleichung berechnet.

3) Eine große Erleichterung der Rechnung gewährt die Zerlegung der Kräfte. In jeder denkbaren Stellung der beyden Planeten gegen einander, kann man die Attraktion des störenden Weltkörpers immer in zwey Richtungen zerlegen, wovon die eine mit dem Radius Vektor des gestörten Planeten zusammen fällt, und die andre darauf senkrecht ist (§. 80.); die erste ändert die Entfernung des Planeten, zieht ihn weiter von der Sonne ab, oder näher zu ihr; die andre treibt ihn, ohne seine Entfernung zu ändern, weiter nach Osten oder Westen, auch, da beyde Planeten nicht in derselben Ebne liegen, nach Norden oder Süden. So entstehn also drey Haupt-Gleichungen für die Entfernung oder Parallaxe, die Länge, und die Breite.

Ihre Eintheilung.

§. 135. Man wird leicht von selbst darauf verfallen, daß diese Gleichungen die von der gegenseitigen Stellung zweyer Planeten abhängen, sich nicht immer fort anhäufen können, sondern nach einer gewissen Zeit die von dem Umlauf beyder Planeten abhängt, bis auf nichts abnehmen, und so oft beyde Planeten die vorige Stellung wider erhalten, ihren Kreislauf von neuem anfangen müssen; mit einem Wort, daß sie

nur periodisch sind. Hinge die Wirkung bloß von der Stellung beyder Planeten gegen die Sonne ab, so würde die Periode aller Perturbationen die z. B. Jupiter in der Erdbahn anrichtet, mit seinem synodischen Umlauf einerley seyn: und dies ist auch in der That die Quelle oder das Argument der beträchtlichsten Störungen, weil von der synodischen Stellung nicht allein die Richtung der Attraktion des Planeten, sondern auch ihre Stärke an sich abhängt, da wir wissen, daß diese nach dem Newtonschen Gesetz in größrer oder geringerer Entfernung ab oder zu nimt, und daß Jupiter der Erde in der Opposition weit näher ist als in der Konjunktion (§. 6.). Allein diese Entfernung, mithin die Größe der Perturbation, hängt wegen der ekzentrischen Bahn der Planeten, auch noch, wiewol in geringerem Grade, von ihrer Lage gegen die Apsiden ab (§. 6.), woraus wider eine andre Periode, die anomalistische, entsteht. Endlich wird, unter übrigens gleichen Umständen, die Störung desto mehr auf die Länge oder auf die Breite wirken, je weniger oder je mehr der störende Planet von der Ebne des gestörten, oder von seiner Knotenlinie entfernt ist, welches eine dritte Periode gibt. Solcher Perioden gibt es also für jeden störenden Weltkörper verschiedene, und es ist offenbar, daß aus allen diesen Perioden eine größere zusammen gesetzte entsteht, die von so ungeheurer Dauer seyn muß, wie die Zeit in der alle Planeten genau dieselbe Stellung wider erhalten. Diese zusammen gesetzte Wirkung äußert sich besonders durch eine allmälige Aendrung der Ellipse selbst, oder ihrer Elemente, der Ekzentrizität, der Neigung, der Lage der Apsiden und der Knoten. Sie ist freylich im Grunde auch periodisch; da aber ihre Periode Jahrtausende umfaßt, und die Wirkung selbst so langsam geschieht, daß sie nur in Jahrhunderten erst merklich wird, so setzt man sie unter dem Namen der Sekular-Gleichungen den periodischen entgegen: erstre ändern die Ellipse selbst in unendlich langen Perioden, letztre den Ort den der

Planet in dieſer veränderlichen Ellipſe einnimt, in kurzen Perioden. Die Art wie wir in der ſphäriſchen Aſtronomie (§. 106.) den Unterſchied der wahren und mittlern Zeit erklärt haben, gibt uns ein Bild, wodurch dieſe Sache vollkommen deutlich wird. Man denke ſich die urſprüngliche Ellipſe eines Planeten, ſo wie ſie ſeyn würde, wenn es keine Perturbationen gäbe, die aber nun wegen der Sekular-Gleichungen, ſich durch unmerkliche Stufen ändert und fort bewegt; man ſtelle ſich einen Körper vor, der dieſe Ellipſe nach den Keplerſchen Geſetzen durchläuft, ſo wie dort die eingebildete Sonne nach der mittlern Bewegung; man nehme zugleich an, daß der wahre Planet jenen fingirten Körper begleite, indem er um ihn in einem ſehr kleinen Epizykel läuft, deſſen Natur von den periodiſchen Störungen abhängt: ſo ſtellt die Bewegung des fingirten Körpers die Sekular-Gleichungen dar, die Bewegung des wahren Planeten um jenen aber die periodiſchen Gleichungen.

Zweytes Kapitel.

Die Monds-Theorie.

§. 136. Das Problem der drey Körper beſteht darin, aus der gegebenen Lage dreyer Körper, die ſich im Verhältniß ihrer Maſſen und im verkehrten Qvadrat-Verhältniß ihrer Entfernungen anziehen, die Bewegung eines jeden derſelben zu finden, die aus dieſen Kräften entſteht. Es iſt alſo ein rein mechaniſches Problem, das nicht anders als durch die allgemeinen Gleichungen (§. 93.), und beſonders die dritte $\sigma' - \sigma = P\tau\tau$, aufgelöſt werden kann, und die Hülfe der Aſtronomie nur in ſo fern erheiſcht, als die in jener Gleichung enthaltenen Größen durch die Keplerſchen Geſetze, und die

Ueberſicht der Perturbations-Rechnungen.

aus den astronomischen Beobachtungen bekannten Größen und Entfernungen der Weltkörper bestimmt werden. Die Kraft P verhält sich wie die Masse des anziehenden Körpers dividirt durch das Qvadrat seiner Entfernung vom angezogenen (§. 112.), und das eine so wol als das andre läst sich nur durch die Astronomie bestimmen. Die kleine Linie σ, die der Planet in dem Augenblick τ vermöge der Kraft P durchläuft, muß eben die Richtung haben wie diese Kraft, folglich gerade auf den störenden Planeten zu gehn; da aber diese Richtung etwas ganz unbestimmtes ist, so muß man die Kraft P so wol als die Bewegung σ, vermittelst des Parallelogramms der Kräfte (§. 79. 80.), nach den in der Astronomie gebräuchlichen Richtungen zerlegen, nämlich nach der Länge, der Breite, und dem Radius Vektor des Planeten: und auch dies erfodert die Hülfe der Astronomie. Wenn man m die Masse des störenden Planeten, und z seine Entfernung von dem gestörten nennt, so scheint der Ausdruck $P = \frac{m}{zz}$ sehr einfach; allein die Entfernung z selbst ist eine unbekannte Größe, die sich für jede angenommene Lage nur durch sehr verwickelte Formeln ausdrücken läst. Die astronomischen Tafeln geben die mittlere Entfernung jedes Planeten von der Sonne, woraus sich, vermittelst der Ekzentrizität und der Lage der Apsiden, für jede Zeit und Lage die wahre Entfernung, und dann aus der gegenseitigen Lage beyder Planeten, auch ihre Entfernung z von einander berechnen läst. Nachdem nun dieser Ausdruck mit Hülfe der Geometrie so beqvem als möglich eingerichtet ist, so gibt die Gleichung $\sigma' - \sigma = P\tau\tau$ bey weitem noch nicht die Perturbationen der Länge, Breite, oder Entfernung, die der Planet durch die Kraft P leidet, sondern nur das Verhältniß welches zwischen den unendlich kleinen Aendrungen σ, σ', dieser Perturbationen, in dem unendlich kleinen Zeitraum τ (§. 92.) statt findet; und die Rechnung des Unendlichen muß nun zu Hülfe gerufen werden, um aus den verschwindenden

Differentialen, durch die so genannte Integration, die Perturbationen selbst in einem endlichen Zeitraum t her zu leiten. Allein, so große Fortschritte auch der Infinitesimal-Kalkul in neuern Zeiten gemacht hat, so ist es doch nicht möglich, jene Differential-Formeln unmittelbar zu integriren; und man muß sich damit begnügen, eine Reihe von unzähligen Gliedern dafür an zu nehmen, die beträchtlichsten derselben durch ihre Vergleichung mit den Differentialen zu bestimmen, und die übrigen als unbedeutend zu übergehen. Die Errathung der Form dieser Glieder, und die Unterscheidung der mehr und minder bedeutenden, ist eine Sache, die außer ungeheuren Rechnungen, Genie und die feinsten Kunstgriffe der Analyse erfodert. Man wird daher hier keine Entwicklung dieser Rechnungen erwarten, und der Verfasser glaubt seine Leser vollkommen zu befriedigen, wenn er sie durch einige Beyspiele, besonders der Mondbahn, in den Stand setzt, sich einen allgemeinen Begrif von der Methode zu machen, durch die es möglich gewesen ist, solche große Entdeckungen zu machen, und wenn er ihnen die merkwürdigsten dieser Entdeckungen erklärt.

Bewegung des ☾ um die ♁ und ☉.

§. 137. Es sey (34. Fig.) S die Sonne, und T die Erde, um welche der Mond L die Ellipse L A D B C beschreibt, und man nenne die Entfernung der Erde von der Sonne S T = a, des Monds von der Erde L T = x, und die veränderliche Entfernung des Monds von der Sonne L S oder A S oder B S = z, endlich die Massen der Sonne und der Erde S und T. Die Erde und der Mond werden von der Sonne angezogen mit Kräften, die sich im ganzen gleich seyn müssen, weil beyde Weltkörper sich in derselben Entfernung von der Sonne befinden, und die nur in so fern verschieden seyn können, als der Mond in seiner monatlichen Bahn um die Erde, der Sonne bald mehr bald weniger nahe ist als die Erde. Jeder Körper wird von einem andern mit einer Kraft angezogen, die der Masse dieses andern dividirt durch das Quadrat ihrer Entfernung gleich ist (§. 112.): die Kraft womit

34. Fig.

die Erde zur Sonne gezogen wird, ist also $\frac{S}{aa}$ nach TS, der Mond aber wird nach LS von einer Kraft $\frac{S}{zz}$ gezogen, die so wol an Richtung als Stärke von jener verschieden ist; nur in den Syzygien A, B, fällt diese Richtung mit TS zusammen, und zwar übertrifft die Entfernung BS des Monds von der Sonne im Vollmonde B, die Entfernung der Erde von der Sonne TS um eben so viel, als seine Entfernung AS im Neumonde A von dieser übertroffen wird, nämlich um den Halbmesser der Mondbahn TA = TB. Das Mittel zwischen der grösten und kleinsten Entfernung des Monds von der Sonne, BS und AS, so wie zwischen allen übrigen Entfernungen des Monds LS = z, ist also die Entfernung der Erde von der Sonne TS = a, und so muß auch der mittlere Werth der Kraft, womit die Sonne den Mond nach eben der Richtung TS wie die Erde anzieht, der Kraft $\frac{S}{aa}$ gleich seyn, womit die Erde angezogen wird. Hieraus folgt, daß der Mond im ganzen, d. h. wenn man von den kleinen Digressionen oder Epizykeln abstrahirt, die er zwölfmal im Jahr um die Erde beschreibt, genau dieselbe Laufbahn um die Sonne haben muß, wie die Erde: welches vollkommen mit dem übereinstimmt, was oben (Th. §. 160. 161.) aus den Beobachtungen hergeleitet ist.

Außerdem aber wird der Mond in L von der Erde nach LT mit der Kraft $\frac{T}{xx}$ gezogen, und diese Kraft ist es eben, die ihn zwingt, während seiner gemeinschaftlichen Wanderschaft um die Sonne, 12 bis 13 mal um die Erde zu laufen (Th. §. 161.). Diese beyden Kräfte, von denen der Mond zur Sonne und zur Erde getrieben wird, sind wegen seiner besondern Lage von der Größe, daß man jede derselben als Zentralkraft ansehn kann; und in der That ist es gleichgültig,

ob man sich die Sache so vorstellt, daß die Erde der Zentralkörper der Mondbahn ist, und den Mond zugleich mit sich um die Sonne schleppt, oder daß der Mond gleich der Erde in einem Jahr um die Sonne läuft, zugleich aber durch die störende Wirkung der Erde gezwungen wird, um diesen Körper zwölf Knoten zu schlingen (Th. §. 161.). Die erstre Ansicht ist mehr astronomisch, die letztre physich richtiger, und es wird der Mühe werth seyn, beyde Kräfte genauer mit einander zu vergleichen.

Die Masse der Sonne S ist 337086 mal größer als die Erd-Masse T (§. 125.), und die Entfernung der Sonne von der Erde a ist $392\frac{1}{2}$ mal so groß als die des Mondes x (§. 121.), folglich das Qvadrat aa 154056 mal so groß als xx. Die Kräfte womit der Mond von der Sonne und von der Erde angezogen wird, $\frac{S}{aa}$ und $\frac{T}{xx}$, verhalten sich demnach wie $\frac{337086}{154056}$ zu 1, d. h. jene Kraft ist über zweymal größer als diese. Die letztre Kraft würde hinlänglich seyn, den Mond in der Zeit eines siderischen Monats von $27\frac{1}{3}$ Tagen um die ruhende Erde zu führen; allein um zugleich mit der Erde in $365\frac{1}{4}$ Tagen den weit größern Umlauf um die Sonne zu machen, muste er eine größere Wurfs-Geschwindigkeit erhalten, und nun ward eine doppelte nach der Sonne gerichtete Kraft erfodert, um ihn in dieser bestimmten Entfernung zurück zu halten. Wenn (29. Fig.) Pp die Bahn des Mondes oder der Erde um die Sonne S, und Tt seine Bahn um die Erde S vorstellt, so ist Pπ und Tτ das Maaß der Zentralkräfte, die erfodert werden, um den Mond in beyden Kreisen Pp, Tt, zu halten; und beyde verhalten sich wie die Halbmesser oder Entfernungen SP = a, ST = x, dividirt durch das Qvadrat der Umlaufszeiten, nämlich des Jahrs und des Monats (§. 95.), wovon das erstre $13\frac{7}{9}$ mal größer ist als der letztre. Dividirt man nun $392\frac{1}{2}$ durch das Qvadrat von $13\frac{2}{3}$, so erhält man ebenfalls den Qvotienten $2\frac{1}{8}$, welches 29. Fig.

ein neuer Beweis für das Newtonsche Gesetz der allgemeinen Attraktion ist.

Eine ausführliche Erklärung dieser Materie war um so weniger überflüssig, da es sogar Astronomen gegeben hat, denen diese so klare Sache ein Räthsel schien, welches nur durch eine totale Reform unsrer theorischen Astronomie, und Aendrung der Sonnen-Parallaxe, dieses Maasstabes des ganzen Sonnen-Systems, aufzulösen wäre. Sie begriffen nicht, wie die Erde der Zentralpunkt der Mondbahn genannt werden könne, da eine doppelte Kraft den Mond zur Sonne ziehe, und vergaßen, daß allerdings die Sonne der eigentliche Zentralpunkt der Mondbahn ist, weil der Mond zugleich wirklich um die Sonne läuft, und zwar mit einer 30mal größern Geschwindigkeit als um die Erde. Für einen Beobachter im Mittelpunkt unsers Systems, in der Sonne, ist die jährliche Bahn des Monds um die Sonne die Basis seiner ganzen Bewegung, sie stellt die mittlere Bewegung vor, deren Korrektionen oder Gleichungen durch die monatliche Bahn des Monds um die Erde ausgedrückt werden (§. 135.): jene ist der große ekzentrische Kreis, diese der kleine Epizykel. Für Astronomen aber, die auf der Erde beobachten, folglich alles so viel möglich auf ihren Mittelpunkt reduziren müssen, ist der wichtige Gegenstand nicht die Bewegung des Monds im absoluten Raum, nicht sein Lauf um die Sonne, der schon durch die Theorie der Erdbahn bekannt ist, sondern seine relative Bewegung um die Erde, oder das eigenthümliche wodurch sie sich von der jährlichen Bewegung der Erde unterscheidet: und dies wird durch die Zentralkraft der Erde, nicht der Sonne bestimmt. So macht der Chimboraßo seinen täglichen Umlauf um den Mittelpunkt der Erde, obgleich er mit ihm zugleich die weit größere jährliche Bahn um die Sonne beschreibt; und die Zentralkraft der Sonne, die ihn wie jedes Sandkorn anzieht, hindert nicht, daß er der Attraktion der Erde huldigt, so wenig wie sie ihn von der Erde los

reißt, weil ſie die ganze Erdkugel mit derſelben Stärke anzieht. — Unſer ganzes Sonnen-Syſtem rückt wahrſcheinlich im unendlichen Raum fort (Th. §. 94. 95.), und die Sonne nebſt allen Planeten wird vielleicht von irgend einem unbekannten Körper mit einer Kraft angezogen, die diejenige weit übertrifft, welche die Erde oder den Jupiter zur Sonne treibt. Allein dieſes Fortrücken und dieſe unbekannte Kraft hindern, wie die Erfahrung beweiſt, die relative Bewegung der Planeten um die Sonne nicht im geringſten; und wir können dieſe nach den Keplerſchen Geſetzen auf das genaueſte berechnen, ohne auf jene Bewegung im abſoluten Raum Rückſicht zu nehmen, ſo wie wir bey der Bewegung des Mondes um die Erde, von der gemeinſchaftlichen Kraft die beyde Körper von der Sonne leiden, ganz abſtrahiren können.

Hätte der Mond im Anfange ſeines Daſeyns dieſelbe Wurfsgeſchwindigkeit wie die Erde erhalten, ſo würde er mit ihr dieſelbe jährliche Bahn um die Sonne zu beſchreiben angefangen haben, ohne um die Erde Umläufe zu machen; allein bald würde die Attraktion der Erde ihn an ſich geriſſen haben, und beyde würden ſich genähert haben, bis ſie im gemeinſchaftlichen Schwerpunkt zuſammen geſtürzt wären. Um dies zu vermeiden, muſte der Mond, außer der mit der Erde gemeinſchaftlichen Geſchwindigkeit nach der linken Seite, noch eine andre erhalten, die der Attraktion der Erde das Gleichgewicht hielt, und die von der Erde aus nach der linken Seite gerichtet war, von der Sonne aus alſo nach der linken oder nach der rechten, nachdem der Mond ſeine Bewegung von der Oppoſition oder von der Konjunktion anfing: d. h. im erſten Fall muſte die Wurfsgeſchwindigkeit des Mondes um ſo viel größer ſeyn als die der Erde, im letztern Fall um eben ſo viel kleiner; im erſten oder letzten Viertel hätte die neue Geſchwindigkeit gerade von der Sonne ab, oder auf ſie zu gerichtet ſeyn müſſen.

Kräfte die auf den Mond wirken.

§. 138. Diese Betrachtungen verbreiten hoffentlich alles nöthige Licht über die zusammen gesetzte Bewegung des Mondes; sie zeigen aber noch nicht, wie aus der Wirkung der Sonne eine Störung der elliptischen Bewegung des Monds um die Erde entstehen kann. Um dies zu untersuchen, müssen wir die Kräfte die auf den Mond wirken, genauer betrachten. Von diesen Kräften, $\frac{T}{xx}$ nach LT und $\frac{S}{zz}$ nach LS

34. Fig. (§. 137. Fig. 34.), ist die erste die Zentralkraft der Erde, die den Mond in seiner elliptischen Bahn um unsern Planeten führt; die letztre ist die Wirkung der Sonne, von der ein Theil darauf verwandt wird, den Mond mit der Erde jährlich um die Sonne zu leiten, der übrige Theil aber in der monatlichen Bahn des Mondes Störungen hervor bringt. Um diese zu bestimmen, müssen wir die Kraft $\frac{S}{zz}$ die die Richtung LS hat, in die Seiten-Kräfte nach LT und TS zerlegen (§. 80.), die sich zur mittlern Kraft $\frac{S}{zz}$ verhalten wie die Linien LT, TS, zu LS (§. 79.). Es wirken also auf den Mond von der Sonne aus die zwey Kräfte $\frac{LT}{LS} \cdot \frac{S}{zz}$ nach LT, und $\frac{TS}{LS} \cdot \frac{S}{zz}$ nach TS, oder wenn man $LS = z$, $LT = x$, $TS = a$, substituirt (§. 137.), die Kräfte

$$P = \frac{S.x}{zzz} \text{ nach LT, und } Q = \frac{S.a}{zzz} \text{ nach TS}$$

oder nach der damit parallelen Richtung LR. Die letztre fällt mit der Kraft $\frac{S}{aa}$ die die Erde zur Sonne zieht (§. 137.), zusammen, und würde, wenn sie ihr auch an Stärke gleich wäre, den Mond weder mehr noch weniger anziehn, ihn weder der Erde nähern noch von ihr entfernen, folglich seine relative Bewegung um die Erde gar nicht ändern, sondern bloß beyde gemeinschaftlich um die Sonne führen. Die relative

Bahn des Mondes um die Erde, mit der wir es hier allein zu thun haben, kann also nur in so fern dadurch gestört werden, als Q von $\frac{S}{aa}$ verschieden ist, mithin durch die Kraft $\frac{Sa}{z^3} - \frac{S}{a^2}$, oder wenn man beyde Glieder auf einen Nenner bringt,

$$S\left(\frac{a^3 - z^3}{a^2 . z^3}\right),$$ die wir R nennen wollen (*).

Diese Kraft nach TS oder LR ist weder auf LT senkrecht, noch fällt sie mit ihr zusammen: es wird also ein Theil von ihr zur Vergrößrung oder Verringerung der Kraft P mit wirken, der sich finden wird, wenn man R in die Seiten-Kräfte nach dem Radius Vektor TL und einer darauf senkrechten Richtung zerlegt (§. 80.). Verlängert man nämlich TL nach M, und zieht MR darauf senkrecht, so zerfällt R in die Kräfte nach LM und MR, die sich zu R verhalten wie diese Linien zu LR. Es wird also die Kraft nach $LM = \frac{LM}{LR} . R$, und die Kraft nach $MR = \frac{MR}{LR} . R$. Da LR mit TS parallel, und LM die Verlängrung von TL ist, so ist RLM dem Winkel STL gleich, der nichts anders ist, als die Entfernung des Monds von der Konjunktion mit der Sonne oder vom Neumonde, die man im gemeinen Leben das Alter des Mondes nennt. Außerdem haben beyde Dreyecke LMR und TFL, wenn man LF auf ST senkrecht herab fallen läst, bey M und F rechte Winkel, folglich alle drey Winkel gleich. Sie sind einander also ähnlich, und die Seiten LR, MR, LM, verhalten sich wie die Seiten TL, LF, TF (§. 25. n 3.). Die erstre

---

(*) Die Verkürzungen a^2, z^3, ꝛc. drücken aus, daß die Größen a oder z, 1 oder 2 mal mit sich selbst multiplizirt werden sollen sie sind also mit den Produkten aa, zzz, ꝛc. einerley.

Kraft nach LM ist also $S\left(\frac{a^3-z^3}{a^2.z^3}\right).\frac{TF}{TL}=S\left(\frac{a^3-z^3}{a^2.z^3}\right)\frac{TF}{x}$

und die andre nach $MR=S\left(\frac{a^3-z^3}{a^2.z^3}\right).\frac{LF}{x}$.

Die relative Bewegung des Monds um die Erde wird also überhaupt durch folgende Kräfte bestimmt:

1) nach LT die Zentralkraft der Erde $=\frac{T}{x^2}$, nach eben der Richtung $P=\frac{S.x}{z^3}$, und nach der entgegen gesetzten Richtung LM die Kraft $=S\left(\frac{a^3-z^3}{a^2.z^3}\right).\frac{TF}{x}$;

2) nach der darauf senkrechten Richtung der Tangente MR oder LN die Kraft $=S\left(\frac{a^3-x^3}{a^2.z^3}\right).\frac{LF}{x}$.

Bringt man die drey erstern in eine Summe, so erhält man zwey auf einander senkrechte Kräfte, die die relative Bewegung des Monds um die Erde beschleunigen, nämlich

die Zentral- oder Normal-Kraft

$$N=\frac{T}{x^2}+\frac{S.x}{z^3}-S\left(\frac{a^3-z^3}{a^2.z^3}\right).\frac{TF}{x},$$

und die Tangential-Kraft $M=S\left(\frac{a^3-z^3}{a^2.z^3}\right).\frac{LF}{x}$.

Gleichung der eigentlichen Bewegung des Monds.

§. 139. Die Tangential-Kraft M kann, da sie immer auf dem Halbmesser der Bahn TL, oder auf die Entfernung des Monds von der Erde senkrecht ist, dieselbe weder verlangern noch verkürzen: sie kann also auf die Gestalt oder Natur seiner Bahn keinen unmittelbaren Einfluß haben, sondern nur auf seine Geschwindigkeit in dieser Bahn. Im Halbkreise CAD ist der Mond der Sonne näher als die Erde, er wird also stärker von ihr angezogen, oder die Kraft $LR=R$ die auf seine relative Bewegung um die Erde wirkt, ist nach der Sonne gerichtet, oder entfernt den Mond von der Erde nach der Seite der Sonne hin. Im andern Halbkreise DBC aber ist er weiter von der Sonne entfernt, wird also weniger als die Erde

angezogen, oder von der Erde nach der entgegen gesetzten Seite entfernt: es ist folglich in Rücksicht auf die relative Bewegung eben so, als wenn er von der Sonne zurück gestoßen würde, oder die relative Kraft R nach LR ist von der Sonne abgewandt. Im ersten Quadranten AD, vom Neumond bis zum ersten Viertel, zerfällt demnach LR in die Seiten-Kräfte LM und MR, und die letztre, oder die Tangential-Kraft LN, ist der Bewegung des Mondes, der nach ADBC um die Erde läuft, entgegen gesetzt: derselbe Fall findet im dritten Quadranten BC statt; in den andern beyden Quadranten aber fällt LN mit der Bewegung des Mondes zusammen, vermehrt also seine Geschwindigkeit, wie die 34. Figur deutlich zeigt. Es folgt hieraus, daß die Bewegung des Monds um die Erde durch die Störung der Sonne, im ersten und dritten Quadranten, d. i. vom Neumond bis zum ersten, und vom Vollmond bis zum letzten Viertel, verzögert, im zweyten und vierten Quadranten aber, nämlich vom ersten Viertel bis zum Vollmond, und vom letzten Viertel bis zum Neumond, beschleunigt wird; und hieraus folgt ferner, daß die Geschwindigkeit des Monds, oder seine stündliche Bewegung, im Neumond und Vollmond, weil sie bis dahin zunimt, nun aber ab zu nehmen anfangt, ihren grösten, in den beyden Vierteln aber, aus der entgegen gesetzten Ursache, ihren kleinsten, in den Oktanten also einen mittleren Werth haben muß: daß folglich die stündliche Bewegung des Monds von den Quadraturen bis zu den Syzygien zu, von diesen aber bis zu jenen abnimt. Alles genau so, wie man es längst aus den Beobachtungen gefunden hatte (Th. §. 179.).

Aendrung der Zentralkraft der Erde

§. 140. Jede Aendrung der Zentralkraft, wodurch sie aufhört nach dem verkehrten Verhältniß der Quadrate der Entfernungen zu wirken, muß eine Störung der elliptischen Bewegung, die allein aus diesem Verhältniß entsteht, hervorbringen. Von der Zentralkraft N (§. 138.) folgt bloß der

erste Theil $\frac{T}{x^2}$ jenem Verhältniß, und aus ihm entsteht die elliptische Bewegung des Monds um die Erde T in der Entfernung x; die übrigen Theile aber $\frac{S.x}{z^3} - S\left(\frac{a^3-z^3}{a^2.z^3}\right).\frac{TF}{x}$ oder $P - R.\frac{TF}{x}$, ändern die elliptische Bahn des Monds.

Wenn man sich nun erinnert (§. 139.), daß die relative Kraft R im Halbkreise CAD wirklich nach LR oder nach der Sonne gerichtet ist, im Halbkreise DBC aber die entgegen gesetzte Richtung hat, so begreift man leicht, daß im ersten Halbkreise die störende Kraft $= P - R.\frac{TF}{x}$, im andern aber $= P + R.\frac{TF}{x}$ ist. Erinnert man sich ferner, daß die Kräfte $R.\frac{TF}{x}$ und $R.\frac{LF}{x} = M$ dadurch entstanden, daß die Kraft R nach LR oder TS, in die Seiten-Kräfte nach dem Halbmesser TL und nach der Tangente LN zerlegt ward, so erhellt, daß, da in den Qvadraturen D und C der Ort des Mondes L mit D oder C, folglich LF mit CT, und F mit T zusammen fällt, $TF = o$ wird, mithin auch die Kraft $R.\frac{TF}{x}$ verschwindet: sie hat hier nämlich schon an sich die Lage der Tangente DR oder CR, wird also ganz auf diese Richtung verwandt, so daß sie mit der Tangential-Kraft M einerley ist, und gar keine Normal-Kraft daraus entsteht. In den Qvadraturen also ist die störende Zentralkraft bloß $= P$. In den Syzygien A und B verhält es sich umgekehrt: die Kraft R fällt mit AS oder BS, d. i. mit der Zentralkraft selbst zusammen, sie wird also ganz darauf verwandt, und $R.\frac{TF}{x}$ wird R selbst gleich, welches auch daraus folgt, daß in den Syzygien $TF = TA = TB = x$, also $\frac{TF}{x} = \frac{x}{x} = 1$ wird. Es ist also die störende Normal-Kraft

in den Qvadraturen D und C = P,
in der Konjunktion A = P — R,
und in der Oppoſition B = P + R.

In den beyden Qvadraturen iſt der Mond C oder D eben ſo entfernt von der Sonne als die Erde T, d. h. z = a, mithin $P = \frac{S.x}{a^3}$ (§. 138.), in der Konjunktion A iſt AS = TS — TA, oder z = a — x, und in der Oppoſition B iſt BS = TS + TB oder z = a + x. Da nun a 392 mal ſo groß als x iſt (§. 137.), ſo wird, wenn man x = 1 ſetzt,

a = 392, a — x = 391, a + x = 393.

Subſtituirt man alſo $P = \frac{S.x}{z^3}$ und $R = \frac{S.a}{z^3} - \frac{S}{a^2}$ (§. 138.), ſo wird in den Qvadraturen $P = \frac{S}{392^3}$, in der Konjunktion $P = \frac{S}{391^3}$ und $R = \frac{S.392}{391^3} - \frac{S}{392^2}$, und in der Oppoſition $P = \frac{S}{393^3}$ und $R = \frac{S.392}{393^3} - \frac{S}{392^2}$. Die ſtörende Kraft iſt demnach, in den Qvadraturen = $P = \frac{S}{392^3}$, in der δ = $P - R = S\left(\frac{1}{391^3} - \frac{392}{391^3} + \frac{1}{392^2}\right)$, und in der $\vartheta = P + R$ = $S\left(\frac{1}{393^3} + \frac{392}{393^3} - \frac{1}{392^2}\right)$, oder in der $\delta = S\left(\frac{1}{392^2} - \frac{392-1}{391^3}\right)$ = $S\left(\frac{1}{392^2} - \frac{391}{391^3}\right)$, und in der $\vartheta = S\left(\frac{392+1}{393^3} - \frac{1}{392^2}\right)$ = $S\left(\frac{393}{393^3} - \frac{1}{392^2}\right)$, oder endlich, wenn man Zähler und Nenner des letzten Gliedes in der δ durch 391, und des erſten in der ϑ durch 393 dividirt,

in den Qvadraturen = $\frac{S}{392^3}$,

in der $\delta = S\left(\frac{1}{392^2} - \frac{1}{391^2}\right)$, in der $\vartheta = S\left(\frac{1}{393^2} - \frac{1}{392^2}\right)$.

Nun ist $392^3 = 153664$, $391^3 = 152881$, $393^3 = 154449$, $392^3 = 60236288$, also $\frac{1}{392^3} = 0{,}0000000166$; $\frac{1}{392^2} = 0{,}000006508$; $\frac{1}{391^3} = 0{,}0000006541$; $\frac{1}{393^3} = 0{,}0000006475$. Die störende Zentralkraft ist demnach

in den Qvadraturen $= +S.0{,}0000000166$;

in der $\delta = -S.0{,}0000000033$; in der $\delta = -S.0{,}0000000033$.

Die Zentralkraft, mit der die Erde den Mond in seiner Bahn hält, wird also in den Qvadraturen um $S.0{,}0000000166$ vermehrt, in den Syzygien aber um das doppelte vermindert.

Die Zentralkraft selbst ist $\frac{T}{xx} = T$, weil wir $x = 1$ gesetzt haben, und die Sonnen-Masse S ist 337086 mal so groß als die Erd-Masse T (§. 125.). Setzt man also $T = 1$, so wird $S.0{,}0000000166 = 0{,}0056$; d. h. die Zentralkraft der Erde, woraus die elliptische Bewegung des Monds entsteht, wird durch den Einfluß der Sonne,

in den Qvadraturen um 0,0056 oder ihren 179ten Theil vermehrt,

in den Syzygien aber um das doppelte oder ihren 89ten Theil vermindert:

sie ist also in den Qvadraturen am größten, in den Syzygien am kleinsten,

ist im ganzen eine Verminderung derselben.

§. 141. Es folgt hieraus, daß die Zentralkraft der Erde, oder die Schwere des Monds zur Erde, durch die Wirkung der Sonne mehr vermindert als vermehrt, folglich im ganzen vermindert wird. Wie viel diese Verminderung im Durchschnitt oder während des ganzen Mond-Laufs betrage, findet man am leichtsten auf folgende Art. Die Linie LF die auf ST senkrecht ist, kann man wegen der unbedeutenden Größe der Mondbahn gegen die 392 mal größere Entfernung der Sonne, als einen Kreisbogen ansehn, der mit dem Halbmesser $SL = z$ geschlagen ist, da dann $z = SF = a - TF$ ist, welches mit sich selbst multiplizirt, $z^2 = (a - TF)\,a - (a - TF)\,TF$

$= a^2 - 2a.\ TF + TF^2$ gibt. Da aber TF 400mal kleiner als a ist (§. 137.), so wird das letzte Glied nur $\frac{1}{160000}$, und daher beynahe $z^2 = a^2 - 2a.\ TF$. Dies noch mals mit $z = a - TF$ multiplizirt, gibt $z^3 = a^3 - 3a^2.TF + \&c.$ wo man aus dem nämlichen Grunde die übrigen Glieder weg läßt. Wir haben also $a^3 - z^3 = 3a^2.TF$, welches in dem Ausdruck für die Normalkraft N (§. 138.) substituirt,

$$N = \frac{T}{x^2} + \frac{S.x}{z^3} - S\left(\frac{3a^2.TF}{a^2.z^3}\right).\frac{TF}{x}$$ gibt. Die Störung der

Zentralkraft $\frac{T}{x^2}$ ist also $=$

$$\frac{S.x}{z^3} - \frac{3S.TF^2}{z^3.x}.$$

Da es hier bloß um den mittlern Werth, oder den Durchschnitt der ganzen Mondbahn zu thun ist, so muß man bedenken, 1) daß die Entfernung des Monds von der Sonne z von SA bis SB zunehmen kann, daher der mittlere Werth von z, $ST = a$ ist, 2) daß TF^2 in der ganzen Mondbahn von o (wenn nämlich F in den Qvadraturen mit T zusammen fällt) bis TA^2 oder $TB^2 = x^2$ (wenn nämlich in den Syßygien F in A oder B fällt) zunehmen kann, so daß der mittlere Werth von TF^2 zwischen o und $x^2 = \frac{1}{2}x^2$ ist. Setzt man also a statt z, und $\frac{1}{2}x^2$ statt TF^2, so wird die Aendrung der Zentralkraft $=$

$$\frac{S.x}{a^3} - \frac{3S.x^2}{2a^3.x} = \frac{S.x}{a^3}\left(1 - \frac{3}{2}\right) = -\frac{S.x}{2a^3},$$

wo das Zeichen (—) anzeigt, daß sie eine beständige Verminderung ist. Diese verhält sich zur Zentralkraft $\frac{T}{x^2}$ selbst, wenn man wie vorhin, $x = 1$ und $a = 392{,}5$ substituirt, wie $\frac{S}{2(392{,}5)^3}$ zu T, oder wie $\frac{337086}{2(392{,}5)^3}$ zu 1, d. i. wie $\frac{1}{2.179}$ zu 1 (§. 140.). Die Schwere des Monds gegen die Erde wird also im ganzen, durch die Wirkung der Sonne, um ihren 358ten Theil vermindert.

Gleichung der Parallaxe.

§. 142. Es bleibt nun noch über, so viel es sich ohne weitläuftige Rechnung thun läst, zu zeigen, wie die beträchtlicheren Störungen der Mondbahn aus den bisher entwickelten Kräften sich erklären lassen.

Die Entfernung des Monds von der Erde hängt, so fern er keine Störungen in seiner elliptischen Bahn leidet, bloß von seiner Lage gegen die Apsiden oder von seiner Anomalie ab; allein die aus der Wirkung der Sonne entstehende Aendrung der Zentralkraft der Erde muß nothwendig auch seine Entfernung von der Erde ändern; und die wichtigste Gleichung der Monds-Parallaxe von 26″ rührt daher, daß der Mond in den Syszygien von der Erde weniger, in den Quadraturen aber weiter entfernt ist, als es seine elliptische Bewegung mit sich bringt (Th. §. 178.). Die Kreis-Bewegung, bey der die Entfernung unveränderlich ist, setzt ein bestimmtes Verhältniß zwischen der Zentralkraft und der Wurfs-Geschwindigkeit nach der Tangente voraus: so bald dieses Verhältniß geändert wird, so muß sich der Mond der Erde nähern oder von ihr entfernen, nachdem die Zentral-Kraft oder die Tangential-Kraft überwiegt (§. 99.). Da wir nun gesehn haben, daß in den Syszygien die Geschwindigkeit des Monds nach der Tangente am gröszten, die Zentralkraft aber am kleinsten ist, und daß in den Quadraturen das Gegentheil statt findet (§. 139. 140.), so erhellt, daß der Mond der Tangente in der ersten Lage am meisten, in der zweyten Lage am wenigsten folgt; daß also dort seine Bahn gerader fort geht, oder am wenigsten, hier am stärksten gekrümmt ist; daß er dort anfängt sich von der Erde zu entfernen, hier ihr zu nähern. Es folgt hieraus, 1) daß der Mond in den Syszygien der Erde am nächsten, in den Quadraturen am entferntesten von ihr ist, mithin in den Oktanten seine mittlere Entfernung hat, wo also die Gleichung der Parallaxe verschwindet, genau so wie es die Beobachtungen gelehrt haben (Th. §. 178.); 2) daß die wahre Figur der Mondbahn

von der Ellipse abweicht, und durch den Einfluß der Sonne einem Kreise ähnlich wird, der in den Syſygien eingedrückt, und in den Qvadraturen ausgereckt iſt.

§. 143. Die beträchtlichſte Gleichung des Mondes, die Evektion beſteht darin, daß die Gleichung des Mittelpunkts um 1° 18′ größer als die elliptiſche iſt, wenn die gröſte Gleichung oder die mittlern Entfernungen in die Qvadraturen, alſo die um 90° davon entfernten Apſiden mit den Syſygien zuſammen fallen; um eben ſo viel aber kleiner, wenn die Apſiden mit den Qvadraturen zuſammen fallen (Th. §. 176.). Die Verbindung der verſchiedenen Wirkungen der Sonne mit der elliptiſchen Lage des Monds gegen die Apſiden, iſt unſtreitig eine der ſchwerſten Materien in der Aſtronomie; doch wird man ſich durch folgende Schlüſſe überzeugen, wie die Theorie der Evektion darauf gegründet iſt. Ohne Rückſicht auf die Wirkung der Sonne, iſt nach den Keplerſchen Geſetzen, die Zentralkraft der Erde auf den Mond, in ſeiner Erdferne am kleinſten, in der Erdnähe aber am gröſten, ſo wie dort die Entfernung des Monds von der Erde ihren gröſten, hier ihren kleinſten Werth hat. Zu mehrerer Kürze mögen die Kräfte und Entfernungen, in der Erdferne A und α, in der Erdnähe B und β heißen. Wenn nun die Apſiden mit den Qvadraturen zuſammen fallen, ſo leidet der Mond in der Erdferne (da er ſich zugleich in den Qvadraturen befindet), außer der Zentralkraft A, durch die Wirkung der Sonne noch eine Kraft $P = \frac{S.x}{a^3}$ (§. 140.), und hier iſt $x = \alpha$, alſo $P = \frac{S.\alpha}{a^3}$; und die ganze Zentralkraft iſt $= A + \frac{S.\alpha}{a^3}$, in der Erdnähe aber $= B + \frac{S.\beta}{a^3}$. Die Kraft B iſt um ſo viel größer als A, als es das verkehrte Verhältniß der Qvadrate beyder Entfernungen α, β, mit ſich bringt; da aber die größre Kraft B um einen kleineren Theil $\frac{S.\beta}{a^3}$, die kleinere Kraft A aber um einen

Evektion.

grössern Theil $\frac{3.\alpha}{a^3}$ (weil α grösser als β ist) zunimt, so nähern sich dadurch beyde Kräfte einander, und die Zentralkraft nimt in einem geringern Verhältniß, als sie ohne die Störung der Sonne gethan hätte, von der Erdferne bis zur Erdnähe zu, und von dieser bis zu jener ab. — Wenn die Apsiden mit den Syszygien zusammen fallen, so muß offenbar das Gegentheil statt finden, weil nun, wenn der Mond in den Apsiden ist, die Kräfte A, B, um das doppelte vermindert werden, statt daß sie dort vermehrt wurden (§. 140.). Die Zentralkraft in der Erdferne ist nun $= A - \frac{2S.\alpha}{a^3}$, in der Erdnähe $= B - \frac{2S.\beta}{a^3}$; die kleinere Kraft A wird also um einen grössern Theil, und die grössere Kraft B um einen kleinern Theil vermindert: folglich werden die Zentralkräfte einander noch ungleicher, und ändern sich in einem grössern Verhältniß als dem der Qvadrate der Entfernungen. In diesem Fall wird also der Mond, wenn er von der Erdferne nach der Erdnähe geht, stärker nach der Erde gezogen, als es die Ellipse erfodert; er wird sich folglich der Erde im Perigeum mehr nähern, und die kleinste Entfernung wird im Verhältniß zur mittleren, oder zum Halbmesser, geringer, d. h. die Ekzentrizität seiner Bahn nimt zu. Dasselbe findet statt auf seinem Wege vom Perigeum zum Apogeum: da nämlich die Zentralkraft in grösserem Verhältniß abnimt, als zur Ellipse erfodert wird, so wird er sich auch mehr von der Erde entfernen, seine gröste Entfernung im Apogeum wird im Verhältniß zur mittleren grösser, folglich auch die Ekzentrizität der Bahn. Wenn also die Apsiden mit den Syszygien zusammen fallen, so nimt durch die ganze Mondbahn die Ekzentrizität zu. — Wenn aber die Apsiden in die Qvadraturen fallen, so ändert sich das Verhältniß der Zentralkraft auf entgegen gesetzte Art; es muß also auch die entgegen gesetzte Wirkung erfolgen. Diese Schlüsse zeigen offenbar, daß die Ekzentrizität

der Mondbahn größer als die elliptische, oder am größten ist, wenn die Apsiden mit den Syzygien zusammen fallen, am kleinsten aber, wenn sie in die Quadraturen fallen: und hierin besteht die ganze Theorie der Evektion.

§. 144. Nach dieser ist die beträchtlichste Störung die Variation. der Mond von der Sonne leidet, die Variation (Th. §. 176.), die überhaupt darin besteht, daß die Länge des Monds im ersten und dritten Oktanten (die auf die Syzygien folgen), um 37′ größer ist als die elliptische, in den beyden Oktanten aber, die auf die Quadraturen folgen, um eben so viel kleiner, und daß in den Syzygien und Quadraturen beyde Längen gleich sind. Hievon wird man den Grund aus §. 139. leicht finden. Es ist daselbst bewiesen, daß die Geschwindigkeit des Monds in seiner Bahn um die Erde, durch die Wirkung der Sonne, in den Syzygien am größten, in den Quadraturen am kleinsten ist, in den Oktanten aber ihren mittleren Werth hat. Die Variation ist der Bogen, um den die wahre Länge des Monds größer oder kleiner ist als die elliptische, und dieser Bogen erhält, wie jede Größe, seinen größten Werth, wenn er zu wachsen aufhört, folglich nun wider ab zu nehmen anfängt. So lange die wahre Geschwindigkeit des Monds größer als die elliptische ist, nimt auch die wahre Länge schneller zu als die elliptische, oder der Ueberschuß jener über diese, die Variation, wächst. Dies hört nur dann auf, wenn die wahre Geschwindigkeit nicht mehr größer, sondern der mittleren gleich ist, d. i. in den Oktanten: die Variation ist also in den Oktanten am größten. Auf der andern Seite wächst der Ueberschuß der elliptischen Länge über die wahre, so lange die wahre Geschwindigkeit kleiner als die elliptische ist, also bis zu den Oktanten wo beyde gleich sind; und in dieser Lage erhält jener Ueberschuß, die negative Variation, ihren größten Werth. Da nun die Bewegung des Monds im zweyten und vierten Quadranten beschleunigt, im ersten und dritten aber verzögert wird, also in den Syzygien ihren größten, in den Qua-

draturen ihren kleinsten Werth hat (§. 139.), so wird sie in den Oktanten die auf die Syſygien folgen, der mittleren gleich, nachdem sie vorher größer gewesen war, in den Oktanten aber, die auf die Qvadraturen folgen, erreicht sie diesen mittlern Werth durch Abnehmen; und hieraus folgt, daß die wahre Länge die elliptische am meisten übertrifft im ersten und dritten Oktanten, von ihr aber am meisten übertroffen wird im zweyten und vierten Oktanten, d. h. der gröste Werth der Variation von 37′ wird in jenen beyden Oktanten zur elliptischen Länge addirt, in diesen beyden davon subtrahirt. In der Mitte zwischen den Oktanten, d. i. in den Syſygien und Qvadraturen, kann sie weder addirt noch subtrahirt werden: die wahre Länge ist hier also der mittlern gleich, oder ihr Unterschied, die Variation = o. Dies stimmt mit den Beobachtungen vollkommen überein.

Jährliche Gleichung.

§. 145. Die jährliche Gleichung des Monds, die nach den Beobachtungen darin besteht, daß die Länge des Monds am Ende des Septembers, oder vielmehr wenn die Erde, nachdem sie durch die Sonnenferne gegangen ist, ihre mittlere Entfernung von der Sonne erreicht, um 11′ 16″ größer als die elliptische Länge ist, in der mittleren Entfernung aber, die am Ende des Märtz auf den Durchgang durch die Sonnennähe folgt, um eben so viel kleiner, daß sie folglich, wenn die Erde in den Apsiden ist, der elliptischen gleich wird (Th. §. 176.), läst sich auf folgende Art erklären.

Die Zentralkraft der Erde leidet durch die Wirkung der Sonne, im ganzen eine Vermindrung von $\frac{S.x}{2a^3}$ welches ihren 358sten Theil ausmacht (§. 141.), so daß die geänderte Zentralkraft der Erde $= \frac{T}{x^2} - \frac{S.x}{2a^3}$ ist, statt dessen wir C—D schreiben wollen. Bey dieser Rechnung ist für a die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne angenommen. Da aber die Erdbahn eine Ellipse ist, so wird a desto gröſer oder klei-

uer, je mehr sich die Erde dem Aphelium oder Perihelium nähert: $\frac{S.x}{2a^3}$ ist also nur dann dem mittleren Werth D gleich, wenn die Erde in ihrer mittlern Entfernung von der Sonne ist; von dieser aber bis zum Aphelium, und dann weiter bis zur nächsten mittleren Entfernung, d. i. vom letzten März bis zum letzten September, ist ihre Entfernung größer als a, folglich $\frac{S.x}{2a^3}$ kleiner als D, und durch die übrige Hälfte der Erdbahn, in der das Perihelium liegt, ist ihre Entfernung kleiner als a, mithin $\frac{S.x}{2a^3}$ größer als D. Setzt man diesen kleinen Unterschied zwischen D und $\frac{S.x}{2a^3} = y$, und stellt sich die Erdbahn durch die beyden Punkte der mittlern Entfernung, die 90° von den Apsiden entfernt sind (Th. §. 138.), in zwey Hälften getheilt vor, so ist die Zentralkraft der Erde in den mittlern Entfernungen selbst $= C - D$, in der Hälfte worin die Sonnenferne liegt $= C - (D - y) = C - D + y$, in der andern Hälfte aber $= C - (D + y) = C - D - y$, und y wird in den Apsiden selbst am größten. In der erstern Hälfte der Erdbahn ist also die Zentralkraft größer als die mittlere $C - D$, in der zweyten kleiner. Wenn die Zentralkraft zunimt, so muß der Mond sich der Erde nähern, so wie er sich von ihr entfernen muß, wenn die Zentralkraft abnimt, weil er nun, da die Wurfs-Geschwindigkeit verhältnißmäßig größer ist, der Tangente mehr folgt. Dies beweist also, daß vermöge der Wirkung der Sonne, der Mond im ganzen um den 358ten Theil des Halbmessers seiner Bahn weiter von der Erde entfernt, oder daß seine Bahn um eben so viel größer ist, als sie seyn würde, wenn die Erde allein auf ihn wirkte; und daß der Mond während der Hälfte der jährlichen Erdbahn, in welcher die Sonnenferne liegt, weniger, in der andern Hälfte aber mehr von der Erde entfernt ist, als die elliptische Entfernung beträgt. Je größer aber die Entfernung

des Monds wird, desto geringer muß seine Geschwindigkeit werden, und umgekehrt, damit nach dem zweyten Keplerschen Gesetz, die Sektoren um die Erde immer von gleicher Größe bleiben: und hieraus folgt, daß die wahre Geschwindigkeit des Monds v in der Hälfte der Erdbahn in welcher die Sonnenferne liegt, größer als die elliptische Geschwindigkeit c ist, in der andern Hälfte aber kleiner, und in der mittlern Entfernung selbst $v = c$; daß v vom Perihelium bis zum Aphelium zu, von diesem bis zu jenem abnimt; daß folglich v im Aphelium am grösten, im Perihelium am kleinsten ist. So lange $v > c$ ist, rückt der Mond schneller in seiner Bahn vor, seine wahre Länge eilt der elliptischen vor; und hieraus entsteht eine Gleichung der Länge, die zur mittlern Länge addirt werden muß, und die so lange immerfort zunimt, als $v > c$ ist, so lange also, bis $v = c$ wird. In diesem Augenblick hört sie auf zu wachsen, hat folglich ihren grösten Werth erreicht: und da dies in der mittlern Distanz, die auf die Sonnenferne folgt, statt findet, so erhellt, daß die jährliche Gleichung in dieser mittlern Entfernung (am Ende Septembers) am grösten ist (11′ 16″) und zur Länge addirt wird. Nun wird $v < c$, der elliptische Ort des Mondes holt den wahren nach und nach ein, die Gleichung nimt also ab, und geht im Perihelium in die entgegen gesetzte über: nun bleibt der wahre Ort des Monds hinter dem elliptischen immer weiter zurück, die Gleichung der Länge wird subtrahirt und nimt immer zu, bis beyde Geschwindigkeiten in der mittlern Entfernung wider gleich werden. In dieser mittlern Entfernung die auf die Sonnennähe folgt (am Ende des Märtz), ist also die jährliche Gleichung wider am grösten, wird aber von der Länge subtrahirt. In den dazwischen liegenden Apsiden ist sie also $= 0$. Man sieht, wie genau dies alles mit den Beobachtungen überein kömmt.

Bewegung der Knoten.

§. 146. Die schon den griechischen Astronomen bekannte rückgängige Bewegung der Monds-Knoten von ungefähr 3′ 11″ in einem Tage, ist nicht gleichförmig, sondern nach der ver-

schiedenen Lage der Sonne gegen den Mond und seine Knotenlinie, bald schneller bald langsamer; und dieser Unterschied zeigt sich besonders, wenn der Mond in den Oktanten ist (Th. §. 174.). Durch folgende Schlüsse wird man begreifen, nicht allein warum die Bewegung der Knoten beständig rückgängig ist, sondern auch woher die schwankende Bewegung entsteht.

In jedem Augenblick kann man durch die drey Körper eine Ebne legen, und es ist unmöglich, daß die Lage dieser Ebne durch ihre gegenseitige Wirkung irgend eine Aendrung leide, weil alle Attraktionen in der Ebne selbst liegen, und nicht außer ihr wirken können. Wenn nun der Mond sich in einer Ebne bewegte, die beständig durch die Sonne und Erde ginge, folglich mit der Ekliptik einerley wäre, so würde die Mondbahn mit der Ebne der drey Körper zusammen fallen, und ihre Lage könnte durch die gegenseitige Attraktion nicht geändert werden. Dies ist aber nur alsdenn der Fall, wenn sich die Sonne in der Knotenlinie des Monds befindet; zu jeder andern Zeit macht die Mondbahn mit der Ebne durch die drey Körper einen Winkel, der nach der verschiedenen Lage der Sonne und des Mondes alle möglichen Werthe erhalten kann. Die Sonne zieht also, wenn man den Augenblick ihres Durchgangs durch die Knotenlinie ausnimt, den Mond beständig nicht allein von der Erde ab, oder in seiner Bahn fort, sondern auch nach der Ebne hin, in der sie sich selbst bewegt, oder in der die Erde um sie lauft. Der Mond wird also durch die Attraktion der Sonne, der Ekliptik beständig genähert, er mag sich an ihrer nordlichen oder südlichen Seite befinden: er wird folglich diese Ebne ehr erreichen, als er sonst gethan hätte; oder die Punkte in denen er die Ekliptik schneidet, die Knoten rücken ihm entgegen. Da nun die Bewegung des Monds rechtgängig ist, so werden die Knoten nach der entgegen gesetzten Richtung auf ihn zu gehn, d. h. die Knoten erhalten durch die Attraktion der Sonne eine

rückgängige Bewegung. Es wird nicht überflüssig seyn, dies noch deutlicher zu zeigen.

Von den beyden Kräften die die Bewegung des Monds stören, nämlich P nach LT und R nach LR (§. 138. Fig. 34.), kann die erstre, weil sie in der Ebne der Mondbahn selbst liegt, diese Ebne auf keine Art verrücken. Dies kann nur die letztre R, die außerhalb der Mondbahn liegt: sie allein kann also nur eine Bewegung der Mondsknoten, oder eine Aendrung der Neigung der Mondbahn hervor bringen. Wenn der Mond in L nordlich über der Ekliptik erhaben ist, so ist die Verlängrung des Halbmessers seiner Bahn LM nach Norden gerichtet, und die Kraft R könnte, wenn sie dieselbe Richtung hätte, ihn nicht aus seiner Ebne verrücken. Da sie aber unterwärts nach LR (nämlich mit der Ekliptik parallel) gerichtet ist, so wird sie ihn der Ekliptik nähern, also die Lage seiner Bahn ändern; und dasselbe findet in allen andern Lagen statt, ausgenommen wenn der Mond oder die Sonne im Knoten selbst ist. Nun sey (35. Fig.) die Sonne in S, die Erde in T, und B ☌ A ☍ sey die Mondbahn nach der Ordnung der Zeichen, also A das erste, B das letzte Viertel. Der Mond befinde sich zwischen der ☌ und dem ersten Viertel, und laufe in 1 Sekunde von L nach l, werde aber zugleich durch die Kraft R mit TS parallel nach lλ gezogen, so daß er gezwungen wird, Lλ statt Ll zu durchlaufen. Wenn man nun beyde Linien Ll, Lλ, verlängert, bis sie die Ekliptik in N und n treffen, so stellen diese Punkte die Knoten der Mondbahn vor, nämlich N den Knoten der elliptischen Bahn Ll, n der gestörten Bahn Lλ: der Mondsknoten ist also durch die Wirkung der Sonne, von N nach n zurück gegangen; denn da LlA die Ordnung der Zeichen ist, so ist die entgegen gesetzte Richtung von N nach n gegen die Ordnung der Zeichen, oder geht rückwärts, die Länge der Knoten nimt ab. Dasselbe findet zwischen dem letzten Viertel B und der ☌ statt: der Knoten weicht, durch die Wirkung der Sonne nach lλ,

35. Fig.

von N nach n zurück. Im andern Halbkreise, zwischen dem ersten Viertel **A** und der ☌, und zwischen dieser und dem letzten Viertel **B**, wird die Erde, weil sie der Sonne näher als der Mond ist, stärker von ihr angezogen, oder der Mond nach der von der Sonne abgewandten Seite von der Erde entfernt, die Kraft **R** wirkt auf eine zurück stoßende Art nach 1λ (§. 139.): der Knoten wird also von N nach n, welches gegen die Ordnung der Zeichen ist, gerückt; sie erhalten folglich auch hier eine rückgängige Bewegung, die also durch die ganze Mondbahn, bey jeder Lage des Mondes statt findet.

Eben so leicht wird man die Ursache der schwankenden Bewegung der Knoten begreifen. Die Kraft **R** woraus diese Störung entsteht, hat bloß in so fern statt, als die Entfernungen des Monds und der Erde von der Sonne verschieden sind (§. 138.): sie ist also da am grösten, wo dieser Unterschied am grösten ist, d. i. in den Syzygien, wo der Mond zwischen der Erde und Sonne, oder gerade jenseits der Erde steht; und sie verschwindet in den Quadraturen, wo beyde Entfernungen gleich sind. Ihre Wirkung, das Zurückweichen der Knoten, wird also auch nach der Lage des Monds gegen die Sonne verschieden seyn. — Wir haben ferner gesehn, daß die Kraft **R** die Knoten nur in so fern verrücken kann, als sie außer der Ebne der Mondbahn liegt, oder als der Mond der Ekliptik dadurch genähert wird. Sie wirkt also gar nicht auf die Knotenlinie, 1) wenn sich die Sonne in dieser Linie, also in der Ebne der Mondbahn befindet, 2) wenn der Mond im Knoten, also in der Ekliptik selbst ist; sie wirkt aber am stärksten, wenn Sonne und Mond 90° vom Knoten entfernt sind. — Es entsteht also eine schwankende Bewegung der Knoten des Monds, die theils von der Lage des Monds gegen die Knoten, theils von seiner Lage gegen die Sonne abhängt.

Aendrung der Neigung.

§. 147. Diese Wirkung der Kraft **R** besteht darin, daß sie den Mond aus der Ebne seiner Bahn zu ziehen strebt, oder vielmehr, daß sie ihn eine Bahn zu beschreiben zwingt,

die in einer andern Ebne liegt; und man wird leicht von selbst vermuthen, daß hiedurch auch die Neigung der Mondbahn gegen die Ekliptik geändert werden muß, daß aber diese Aendrungen sich nicht, wie die Bewegung der Knoten, anhäufen, sondern nur periodisch sind. Die 36. Figur wird dies vollkommen in's Licht setzen. Es sey n A N B n A N die Bahn die der Mond durchlaufen würde, wenn er der Zentralkraft der Erde allein überlassen wäre, und n M N m n M N die Ekliptik. Indem der Mond von A nach N geht, wird er durch die Attraktion der Sonne gezwungen, sich der Ekliptik schneller zu nähern, als er sonst gethan hätte; er wird also nicht den Bogen A N, sondern A M durchlaufen, und die Ekliptik ehr in M erreichen: dasselbe findet zwischen B und n statt, so daß die Knoten beständig von N nach M, und von n nach m zurück weichen (§. 146.). Man sieht zugleich, daß die Neigung, oder der Winkel N, n, unter dem die Mondbahn die Ekliptik schneidet, sich in den Winkel M, m, verwandelt hat, und es ist offenbar, daß M, m, größer als N, n, ist, so daß die Neigung beständig zu zu nehmen scheint. Allein, so wie der Mond vor seinem Durchgange durch den Knoten der Ekliptik genähert ward, so wird er nach diesem Durchgange, von derselben Attraktion der Sonne, zur Ekliptik zurück gezogen, so daß er die punktirte Linie a M b m a M beschreibt. Nun krümmt sich also seine Bahn auf die entgegen gesetzte Art, und seine Neigung nimt ab, wie man am deutlichsten in a und b sieht, wo seine gröste Breite a C, b D, welche mit der Neigung einerley ist, kleiner als die ursprüngliche Neigung A C, B D ist. Die wahre Neigung ist also bald größer, bald kleiner als die mittlere, und leidet nur periodische Aendrungen. — Da nun die Breite des Monds überhaupt von der größern oder geringeren Neigung seiner Bahn gegen die Ekliptik, in jedem einzelnen Punkt aber von seiner Lage gegen die Knoten abhängt, so begreift man, wie durch diese Störungen der Knoten und

36. Fig.

der Neigung, nothwendig auch Aendrungen oder Gleichungen der Breite des Monds entstehn müssen (Th. §. 177.).

Bewegung der Apsidenlinie.

§. 148. Wenn die Bewegung des Monds um die Erde durch die Sonne nicht gestört würde, so wäre seine Bahn eine unveränderliche Ellipse, und er würde seine gröste und kleinste Entfernung von der Erde, immer in denselben Punkten die man die Apsiden nennt, erreichen. Da aber durch die Wirkung der Sonne, seine Entfernung von der Erde bald vergrößert bald vermindert wird, so hängt seine gröste oder kleinste Entfernung zugleich von seiner Lage gegen die Sonne ab; und diese Punkte, die Erdferne und Erdnähe, können nicht mehr mit den elliptischen Apsiden zusammen fallen, sondern ihre Stelle hängt zwar hauptsächlich von der Lage der Apsidenlinie, zum Theil aber auch von der Lage der Sonne ab. Wie sie nun auch immer von dieser letztern abhängen mag, so ist offenbar, daß, da wegen der jährlichen Bewegung der Erde der Ort der Sonne am Himmel sich ändert, auch die von diesem Ort abhängige Stellung der Erdferne und Erdnähe sich ändern muß, und daß dieses Fortrücken der Sonne folgen, oder mit der Bewegung der Sonne dieselbe Richtung haben muß. Da nun die Bewegung der Sonne, oder welches hier das nämliche ist, der Erde, nach der Ordnung der Zeichen geschieht, so folgt, daß die Erdferne und Erdnähe oder die Apsiden des Monds, im ganzen immer fort eine rechtgängige Bewegung haben, wie es schon Ptolemäus durch seine Beobachtungen entdeckt hatte (Th. §. 175.). Da aber die Kraft, wodurch die Entfernung des Monds von der Erde geändert wird, nach der verschiedenen Lage des Monds gegen die Sonne bald gröser bald kleiner ist, so sieht man leicht, daß die Bewegung der Apsiden, während eines synodischen Monats allerley periodische Aendrungen leiden muß, daß also auch diese Bewegung, gleich der der Knoten, schwankend ist.

Die Art dieser schwankenden Bewegung der Apsiden läst sich durch folgende Schlüsse noch näher bestimmen. Diese Be-

wegung überhaupt entsteht, wie wir eben gesehn haben, daraus, daß die Entfernung des Monds von der Erde durch den Einfluß der Sonne geändert wird; und diese Aendrung kann nur durch die Störung der Zentralkraft bewirkt werden, weil die Tangentialkraft nicht so wol die Entfernung des Monds, als seine Geschwindigkeit ändert (§ 139.). Da nun die Störung der Zentralkraft im ganzen in einer Vermindrung derselben besteht (§. 141.), so erhellt, daß die rechtgängige Bewegung der Apsiden durch die **Vermindrung** der Zentralkraft bewirkt wird, so wie eine Vermehrung derselben eine rückgängige Bewegung zur Folge haben würde. Es folgt hieraus zugleich, daß die Apsiden desto schneller oder desto langsamer fort gestoßen werden, je größer oder je geringer diese Vermindrung ist. Da nun die Zentralkraft der Erde in den Syzygien am meisten vermindert, in den Qvadraturen aber am meisten vermehrt wird (§. 140.), folglich in den Oktanten weder Vermehrung noch Vermindrung leidet, so ist offenbar, daß die Bewegung der Apsiden in den Syzygien am schnellsten, in den Qvadraturen am langsamsten ist. Die Lage der Apsiden läst sich nur dann genau beobachten, wenn der Mond sich in dieser Linie befindet: denn, wenn er in der Gegend der mittlern Entfernung oder der grösten Gleichung des Mittelpunkts ist, so kann die Apsidenlinie beträchtlich verrückt werden, ohne daß der Ort des Monds eine merkliche Aendrung dadurch leidet. Die Bewegung der Apsiden ist also am schnellsten, wenn die Sonne in der Apsidenlinie ist, am langsamsten, wenn sie 90° davon entfernt ist, und sie hat ihren mittlern Werth, wenn die Sonne 45° von den Apsiden entfernt ist: sie wird also von den Qvadraturen bis zu den Syzygien schneller, von diesen bis zu jenen langsamer, und ist bey 45° der mittlern Bewegung gleich. Vergleicht man hiemit, was oben (§. 145.) bewiesen ist, so sieht man, daß die wahre Lage der Apsiden vor der mittlern am weitsten voraus seyn muß, in den Oktanten die auf die Syzygien folgen, d. h. wenn die Sonne

45° von den Apsiden nach Osten gerückt ist, weil nun die wahre Bewegung aufhört schneller zu seyn als die mittlere, und dieser wider gleich wird; daß aber der wahre Ort der Apsiden am weitsten hinter dem mittlern zurück ist, in den andern Oktanten wo die Sonne 135° von den Apsiden nach Osten entfernt ist, weil nun die wahre Bewegung, nachdem sie langsamer als die mittlere gewesen war, diese wider einholt, und anfängt schneller zu werden. Alles dies stimmt aufs genaueste mit den schon von Ptolemäus gemachten Beobachtungen überein.

Inhalt des folgenden Kapitels.

§. 149. Der Verfasser glaubt den Zweck dieses Werks vollkommen erreicht zu haben, wenn es ihm gelungen ist, seinen Lesern die Quelle und die Natur der vornehmsten Gleichungen des Monds, aus der allgemeinen Theorie der Newtonschen Attraktion, in diesem Kapitel deutlich erklärt und bewiesen zu haben. Die Berechnung der genauen Größe dieser Gleichungen, so wie die Bestimmung der übrigen kleineren Perturbationen, erfodert keine neue Theorie, sondern nur eine weitere Entwicklung derselben, eine Verfolgung derselben Untersuchungen bis in das kleinste Detail, und eine mühsame Berechnung der Größen, von denen hier nur überhaupt angegeben ist, wo sie am größten sind, oder ganz verschwinden, wo sie auf diese oder die entgegen gesetzte Art wirken, und welches ihre Wirkung im ganzen ist, ohne auf ihre periodischen Modifikationen Rücksicht zu nehmen. Dieselbe Methode liegt bey der Berechnung der Perturbationen der Planeten zum Grunde, und es würde ganz wider den Plan dieses Werks seyn, sie auf jeden Planeten besonders an zu wenden; allein für diejenigen Leser, deren Aufmerksamkeit bisher nicht ermüdet ist, wird eine kurze und pragmatische Erzählung der beträchtlichsten Störungen, die in unserm Sonnensystem statt finden, und der Art wie sie entstehen, eine angenehme Unterhaltung seyn: und dies ist der Inhalt des folgenden Kapitels.

Drittes Kapitel.

Perturbationen der Planeten.

Einleitung. §. 150. Die Störungen die die Sonne in der Mondbahn anrichtet, sind ein Bild von dem was in dem Planeten-System vorgeht; und jede Kombination zweyer Planeten bietet einen Fall dar, der jenem an sich ganz ähnlich ist, aber dennoch aus einem einfachen Grunde, sehr verschiedene Resultate gibt. Dort wo die Sonne der störende Körper ist, ist die Ebne seiner Bahn mit der Erdbahn oder der Ekliptik einerley, auf welche alle Lagen und Bewegungen in der Astronomie bezogen werden; hier aber ist es die Bahn irgend eines Planeten, und fällt nur dann mit der Ekliptik zusammen, wenn man die Störungen untersucht, die die übrigen Planeten von der Wirkung der Erde leiden: in jedem andern Fall ist ein besondre Rechnung nöthig, um die Verrückung längs der Bahn des störenden Planeten auf die Ekliptik zu reduziren, woraus dann natürlich ganz eigene Erscheinungen entstehn.

Derselbe Umstand, daß sich alle astronomischen Bestimmungen auf die Etliptik oder die Ebne der Erdbahn beziehen, deren Grade der Länge wider von der Lage der Aequinoktialpunkte abhängen, hat eine andre Folge von noch weiterer Ausdehnung. Durch Jupiters Wirkung z. B. wird die Ebne der Erdbahn verrückt, und dies hat die nothwendige Folge, daß die Knoten aller übrigen Planeten mit der Ekliptik, so wie ihre Neigung gegen diese Ebne, sich ändern, ohne daß die Ebnen jener Planeten-Bahnen selbst sich bewegen: denn so wie jede wahre Bewegung der Erde eine scheinbare Bewegung der übrigen Planeten verursacht (worauf das ganze Kopernikanische System gegründet ist), so muß auch jede wahre Bewegung der Ebne ihrer Bahn die übrigen Bahnen scheinbar verrücken. So wie die tägliche Umdrehung der kleinen Erdkugel die scheinbare Umwälzung des ganzen Sternhimmels zur

Folge hat, so muß die geringste Verrückung in der Lage der Erd-Axe die ganze Sphäre erschüttern: der Polar-Stern entfernt sich vom Pol, weil der Pol sich von ihm entfernt; die Sterne nähern sich dem Aequator, der ihnen entgegen rückt; die Aequinoktialpunkte weichen zurück, alle Längen am Himmel nehmen zu, und aus dem letzten der Gestirne wird das erste.

So zeigt sich in unserm Sonnen-System, wie in einem vergrößernden Spiegel, wider, was wir am Stern-Himmel wahrgenommen haben (Th. §. 94. 95.). Nichts im Universum ist in Ruhe; selbst die Gränzsteine, durch die die Karte des Himmels entworfen ist, verrücken sich, und die Kreise auf welche vor Jahrtausenden die Sphäre gegründet ward, verschieben sich. Jeder Planet wird in seiner elliptischen Laufbahn um die Sonne, nach allen Seiten gezerrt, selbst die Ebne seiner Bahn wird erschüttert, und außerdem nimt er an jeder Verrückung der Erde Theil, als wenn er sie selbst erlitte. Hieraus entsteht ein so verwickeltes Gewühl von unzähligen Bewegungen, daß nicht bloß um sie zu entwickeln, zu beweisen und zu berechnen, sondern nur um sie sich deutlich vor zu stellen, eine große Anstrengung des Verstandes erfodert wird, und daß jeder der für so etwas Gefühl hat, von Bewundrung und Anbetung der höchsten Weisheit durchdrungen wird, die diese scheinbaren Verwirrungen so berechnet hat, daß die ganze Maschine nicht dadurch leidet, und keins ihrer Räder je still steht.

Aendrung der Knoten und Neigung.

§. 151. Was oben vom Monde bewiesen ist, muß auch von den Planeten gelten; und es wird nicht schwer seyn, die dort entwickelte Theorie hierauf an zu wenden. Ein Theil der Wirkung der Sonne besteht darin, daß sie den Mond nach der Ebne ihrer Bahn hin zieht, wodurch die Mondbahn dergestalt verrückt wird, daß ihre Knoten mit der Ekliptik beständig zurück weichen, ohne daß jedoch der Winkel, unter dem sich beyde Ebnen schneiden, die Neigung, im geringsten

geändert wird (§. 146. 147.). Dasselbe Gesetz findet zwischen jeden zwey Planeten statt. Die Wirkung die z. B. Saturn auf den Jupiter äußert, hat die Folge, daß die Punkte in welchen beyder Bahnen Ebnen sich schneiden, ihre Knoten, beständig zurück weichen, der Winkel aber, unter dem sie sich schneiden, die Neigung, nur periodische Aendrungen leider, die sich mit jedem Umlauf ersetzen, und von den Astronomen als Korrektionen der Breite berechnet werden. Es sey
37. Fig.. (37. Fig.) A S B die Saturns-Bahn, und I S V die Bahn die Jupiter um die Sonne beschreiben würde, wenn er keine Störung vom Saturn litte, und A S B, I S V, sey die Ordnung der Zeichen. Da nun ♄ den ♃ beständig nach der Ebne A B hin zieht, so wird dieser Planet, indem er von I aus läuft, nicht nach S sondern nach T gelangen, so daß sich seine ursprüngliche Bahn I S V in die Linie I T W krümmt: der Knoten S ist nach T, also rückwärts, gegen die Ordnung der Zeichen A S B, gerückt, und aus der Neigung A S I ist A T I geworden, welcher äußre Winkel offenbar größer ist als der innre T S I: die Neigung hat also vor dem Durchgange durch den Knoten zugenommen. Gleich nachher aber verläst ♃ seine neue Bahn T W, da er durch die Attraktion des ♄ gezwungen wird, sich der Ebne A B zu nähern; und da diese Attraktion eben die Stufenfolge hat, wie die vor dem Knoten, so wird die Bahn auf eben die Art wider zurück gebogen, bis sie die Lage T P erhält, die der ursprünglichen Lage I S V parallel ist, folglich die Saturns-Bahn A B unter dem vorigen Winkel schneidet. Die Neigung nimt also nach dem Durchgange durch den Knoten um eben so viel wider ab, als sie vorher zugenommen hatte, die Neigung S T P ist um eben so viel kleiner als S T W, als A T I größer war als A S I. Hieraus folgt der wichtige Satz: der Winkel unter dem sich zwey Planeten-Bahnen schneiden, leidet durch ihre gegenseitige Attraktion nicht die geringste Aendrung; die Durchschnitts-

punkte beyder Ebnen aber erhalten eine beständig rückgängige Bewegung.

Da der Pol eines Kreises über dem Mittelpunkt desselben senkrecht steht, und die Neigung zweyer Kreise gegen einander mit der Entfernung ihrer Pole einerley ist, so muß der Pol genau dieselbe Bewegung haben, wie die Kreise selbst; und man kann sich die Wirkung der gegenseitigen Attraktion zweyer Planeten so vorstellen, daß der Pol jeder Bahn um den Pol der andern einen Kreis gegen die Ordnung der Zeichen beschreibt, wodurch also, da es ein Kreis ist, ihre Entfernung oder die Neigung sich nicht ändert.

Reduktion auf die Ekliptik.

§. 152. So bald man aber, wie es in der Astronomie gebräuchlich ist, die Bewegungen auf die Ekliptik reduzirt, so kann aus eben dieser Wirkung, nach der verschiedenen Lage beyder Planeten-Bahnen gegen die Ekliptik, nicht allein eine fortwährende Zunahme oder Abnahme der Neigung, sondern auch eine rechtgängige Bewegung der Knoten mit der Ekliptik entstehn. Um sich hievon eine deutliche Vorstellung zu machen, betrachte man die 38. 39. und 40. Figur, und erinnere sich dabey, daß die Bewegung der Knoten mit der Bewegung des Pols, und die Neigung mit der Entfernung der Pole beyder Ebnen einerley ist. Es sey (38. und 39. Fig.) A B C D die 38. 39. Figg. Ekliptik nach der Ordnung der Zeichen, E ihr Pol, P der Pol der Bahn des störenden Planeten, Q des gestörten, so daß Q um P einen Kreis gegen die Ordnung der Zeichen, d. i. nach der Richtung Q 1 2 3 4 5 Q beschreibt, wodurch also die Entfernung des Pols Q vom Pol E, oder die Neigung der gestörten Bahn gegen die Ekliptik, nach und nach die Werthe E Q, E 1, E 2, E 3, E 4, E 5, erhält. Nun sieht man sogleich, daß die Neigung von Q durch 1 und 2 bis 3 abnimt, von 3 durch 4 und 5 bis Q aber wider zunimt. Da nun die Längen längs der Ekliptik, oder um den Pol E, immer nach der linken Seite, d. i. nach A B C D oder nach Q 5 4 3 2 1 gezählt werden, so liegt in der ersten Hälfte Q rechts von P,

in der letzten Hälfte links; oder wenn man die Winkel nur bis 180° zählt, so ist in der ersten Hälfte die Länge des Pols P größer als die des Pols Q (EP fällt links von E1, E2), in der letzten Hälfte aber ist es umgekehrt (EP fällt rechts von E4, E5): und eben so verhält es sich auch mit der Länge der Knoten. So lange also die Länge des ☊ des störenden Planeten größer als die des ☊ des gestörten Planeten ist (im Halbkreise Q 1 2 3), nimt die Neigung gegen die Ekliptik ab; wenn aber der ☊ des gestörten Planeten eine größere Länge hat, als der des störenden (im Halbkreise 3 4 5 Q), so nimt die Neigung zu.

Die Bewegung der Knoten, welche die 40. Figur dar-
40. Fig. stellt, ist etwas verwickelter. Indem der Pol Q um P den Kreis 3 4 5 Q beschreibt, rückt er um E nach der Ordnung der Zeichen bis 5 (E4, E5, fallen links von E3); von 5 bis Q aber wendet er sich wider rechts, oder geht rückwärts. In 5 ist seine Entfernung von E so groß wie EP, oder die Neigungen beyder Planeten gegen die Ekliptik sind gleich; zwischen 3 und 5 ist die Neigung des gestörten Planeten kleiner als die des störenden (E4 ◁ EP); zwischen 5 und Q aber ist sie größer (EQ ▷ EP). Die Knoten mit der Ekliptik haben also eine rechtgängige oder rückgängige Bewegung, nachdem die Neigung des gestörten Planeten gegen die Ekliptik kleiner oder größer als die des störenden ist. — Allein es gibt noch andre Umstände, unter denen die Bewegung der Knoten rückgängig wird. Wenn der Pol der Bahn des gestörten Planeten in R liegt, so daß er den Kreis RST um P beschreibt, so geht er durch diesen ganzen Kreis rückwärts (ES, ET, fallen von E ausgesehn rechts, oder der Pol R rückt von C über B und A weg gegen die Ordnung der Zeichen), nicht bloß durch den Bogen ST wo seine Neigung die des störenden Planeten übertrifft, sondern auch durch den Bogen RS wo sie kleiner ist. Dies letztre rührt daher, daß die Winkel

PES, PER, stumpf werden, oder daß der ☊ des gestörten Planeten um mehr als 90° vor dem des störenden voraus ist.

Anwendung auf die Planeten.

§. 153. Es lassen sich hieraus folgende wichtige Resultate ziehn.

1) Obgleich durch die Wirkung der Planeten auf einander, ihre Knoten mit der Ekliptik, nach der verschiedenen Lage ihrer Bahnen, so wol eine rechtgängige als rückgängige Bewegung erhalten können, so muß doch im allgemeinen das letztre weit häufiger statt finden: dies ist nämlich nicht allein der Fall, wenn die Neigung des gestörten Planeten größer ist als die des störenden, sondern auch wenn die ☊ beyder Planeten-Bahnen um mehr als 90° von einander entfernt sind.

2) Die Kennzeichen wonach die Bewegung der Bahnen in Ansehung der Ekliptik beurtheilt werden muß, sind folgende. Die Neigung wächst, wenn der ☊ des gestörten Planeten vor dem des störenden voraus ist; im entgegen gesetzten Fall nimt sie ab. Die Knoten haben eine rückgängige Bewegung, wenn entweder die Neigung des gestörten Planeten größer als die des störenden, oder wenn die Entfernung beyder aufsteigenden Knoten größer als 90° ist, oder auch wenn beydes statt findet. Es gibt sogar einen Fall, wo die Bewegung rückgängig ist, ohne daß einer von beyden Fällen eintrit, wenn nämlich die Neigungen nur wenig unterschieden sind, zugleich aber die Entfernung beyder ☊ dem rechten Winkel nahe kömmt.

3) Es folgt hieraus zugleich, daß aus der gegenseitigen Attraktion jeder zwey Planeten immer entgegen gesetzte Wirkungen entstehn müssen, den einzigen Fall ausgenommen, da die Entfernung beyder ☊ größer als 90° ist, mithin beyde ☊ zurück weichen. Wenn z. B. Saturns Wirkung eine rechtgängige Bewegung der Knoten Jupiters und eine Verminderung seiner Neigung hervor bringt, so muß Jupiters Attraktion eine rückgängige Bewegung der Knoten und eine Zunahme seiner Neigung bewirken: denn derselbe Planet der dort Störungen litt, wird hier der störende, der passive und aktive

werden verwechselt, folglich auch beyde Kennzeichen umgekehrt, wodurch jene Bewegung bestimmt wird.

Ein Beyspiel wird dies am besten erläutern. Der ☊ Saturns ist um 13° 40′ vor dem des Jupiters voraus, und seine Neigung ist fast doppelt so groß als diese (Th. §. 124.). Durch die Wirkung Saturns auf den Jupiter entsteht also, aus dem ersten Grunde eine Abnahme der Neigung Jupiters, und aus dem letzten Grunde eine rechtgängige Bewegung seiner Knoten. Aus den nämlichen Gründen aber entstehn durch die Reaktion Jupiters, eine Zunahme der Neigung Saturns, und eine rückgängige Bewegung seiner Knoten. Daß demohnerachtet die Knoten Jupiters zurück weichen, und die Neigung Saturns abnimt (Th. §. 124.), das ist eine Folge von der Verrückung der Erdbahn selbst, also nur eine scheinbare Bewegung der Planeten-Bahnen, von der wir jetzt reden wollen.

Scheinbare Aenderung der Knoten und Neigung.

§. 154. Durch die Störung die die Erde von jedem Planeten leidet, entsteht eine Bewegung der Ebne der Erdbahn oder der Ekliptik, die darin besteht, daß ihre Knoten mit der Ebne des störenden Planeten beständig zurück weichen, ohne daß der Winkel beyder Ebnen sich ändert (§. 151.). Da nun jene Punkte mit den Knoten der Bahn des störenden Planeten einerley sind, so erfolgt aus der Wirkung jedes Planeten auf die Erde, eine beständig rückgängige Bewegung der Knoten dieses Planeten, indeß seine Neigung unverändert

41. Fig. bleibt. Wenn also (41. Fig.) E☊′C die Ekliptik nach der Ordnung der Zeichen, N☊′I die Bahn irgend eines störenden Planeten (♄) ist, dessen ☊ also in ☊′ liegt, so entsteht aus der Attraktion Saturns auf die Erde, eine Bewegung der Ekliptik, wodurch sie die Lage ENLC annimt, so daß der ☊ Saturns von ☊′ nach N zurück weicht, die neue Neigung INC aber der vorigen I☊′C gleich ist; und hieraus folgt, daß die Knoten ☊′, N, von den Punkten C, E, um welche die Ekliptik sich gedreht hat, 90° entfernt sind,

oder vielmehr daß der Bogen C☊′ etwas weniges kleiner, CN aber um eben ſo viel größer als ein Quadrant iſt, weil nur in dieſem einzigen Falle der äußre Winkel I☊′C dem innern INC gleich ſeyn kann.

Nun ſey ☊ der Knoten der Bahn FLI irgend eines andern Planeten (♃), welche durch die Wirkung Saturns auf die Erde nicht verrückt wird, obgleich ihre relative Lage gegen die verſchobene Ekliptik ELC dadurch geändert wird: der Knoten Jupiters weicht nämlich von ☊ nach L zurück, und die Neigung I☊C verwandelt ſich in ILC. Wenn der ☊ des geſtörten Planeten vor dem des ſtörenden voraus iſt, wie L☊I vor N☊′I, ſo iſt offenbar im Dreyeck C☊L, deſſen Seiten C☊, CL kleiner als Quadranten ſind, der äußre Winkel I☊C größer als der innre ILC, die Neigung nimt alſo ab. Im entgegen geſetzten Fall aber, wie wenn Jupiters Bahn in GM☊I fällt, weichen zwar auch die Knoten von ☊ nach M zurück, aber die neue Neigung IMC iſt größer als die urſprüngliche I☊C. Nun fällt nämlich das ſphäriſche Dreyeck deſſen Bogen E☊, EM, kleiner als 90° ſind, nach der Seite von E hin, weil EN = 90° iſt: es iſt alſo in dieſem Dreyeck der äußre Winkel EMG, oder der ihm gleiche Scheitel-Winkel IMC, größer als der innre E☊M welcher mit der Neigung I☊C einerley iſt. Es folgt hieraus, daß durch die Wirkung irgend eines Planeten auf die Erde, die Neigung dieſes Planeten ſelbſt nicht geändert wird, die Neigung jedes andern Planeten aber abnimt, wenn ſein ☊ vor dem des ſtörenden Planeten voraus iſt, hingegen wächſt, wenn dieſer vor jenem voraus iſt. So leidet z. B. die Neigung Jupiters, durch die Wirkung Saturns auf die Erde, eine Zunahme, weil die Länge vom ☊ ♄ größer iſt als die vom ☊ ♃; und aus dem nämlichen Grunde muß die Neigung Saturns, durch die Wirkung Jupiters auf die Erde abnehmen.

Die ſcheinbare Bewegung der Knoten nach L oder M, iſt in beyden Fällen, da nämlich die Entfernung der ☊ bey-

der Planeten ☊☊′ kleiner als der Quadrant C☊′ oder E☊′ ist, rückgängig; so bald aber diese Entfernung größer als 90° ist, so wird die Bewegung der Knoten rechtgängig. In diesem Falle nämlich fällt der ☊♃ rechts von C oder links von E, folglich muß der ♂ der von jenem um 180° entfernt ist, innerhalb des Halbkreises CE, entweder rechts oder links von ☊′ fallen, so daß die Bahn die Lage D♂Q oder B♂P hat; und in beyden Fällen rückt der ♂ von ♂ nach Q oder nach P vor, folglich hat auch der ☊ eine rechtgängige Bewegung. Allein dieser Fall findet in unserm ganzen Sonnen-System nicht statt, wenn man die Pallas und Juno ausnimt (Th. §. 124. 147.): daher die scheinbare Bewegung aller Planeten-Bahnen, die durch die Verrückung der Erdbahn entsteht, in einem Zurückweichen ihrer Knoten besteht.

Das Resultat aller bisherigen Untersuchungen ist folgendes. Aus den Wirkungen sämmtlicher Planeten auf einander und auf die Erde, entsteht theils eine wahre, theils eine scheinbare Verrückung der Ebnen ihrer Bahnen, wodurch die Länge der Knoten jedes Planeten mit der Ekliptik und seine Neigung gegen dieselbe, nach der verschiedenen Lage dieser Ebnen, so wol ab als zunehmen kann. Die wahre Bewegung entsteht aus der Wirkung die jeder Planet von allen übrigen leidet; die scheinbare aber aus den Störungen, die die Erde theils von diesem Planeten, theils von den übrigen leidet, wodurch die Ebne ihrer Bahn oder die Ekliptik verrückt wird, wodurch also auch die Punkte in denen sie jede Planetenbahn schneidet, so wie der Winkel den sie mit jeder macht, d. h. die Knoten und die Neigung jedes Planeten gegen die Ekliptik, geändert werden müssen. Die Größe dieser aus wahrer und scheinbarer Bewegung zusammen gesetzten Aendrungen, findet man in der oben mitgetheilten Tafel (Th. §. 124.). Da nun die Knoten und Neigungen aller Planeten sich immer fort ändern, so muß auch die davon abhängende Wirkung, nämlich die Aendrung dieser Elemente

ſelbſt, eine andre Geſtalt erhalten, und die Knoten müſſen durch ihre beſtändige Bewegung endlich eine ſolche Lage erhalten, daß ihre rückgängige Bewegung in rechtgängige, und die Abnahme der Neigung in Zunahme übergeht, ſo daß alle dieſe ſo genannten Sekular-Gleichungen in der That nichts als periodiſche Schwankungen ſind.

Verrückung der Erdbahn.

§. 155. Die Verrückung der Erdbahn, auf deren Ebne alle Oerter der Sterne und alle Bewegungen der Planeten reduzirt werden, bringt nicht allein eine ſcheinbare Bewegung der Planeten-Bahnen, ſondern eine Revolution in der ganzen Sphäre hervor: denn man begreift leicht, daß die Ekliptik ſich nicht drehen kann, ohne ihre Lage gegen die Fixſterne zu ändern, und ohne daß zugleich die Punkte in denen, und der Winkel unter dem ſie den Aequator ſchneidet, ſich ändern: mit einem Wort, es müſſen zugleich die Aequinoktialpunkte von denen alle Längen und Rektaſzenſionen gezählt werden, die Schiefe der Ekliptik, und die Breite und Länge aller Sterne, Aendrungen leiden, die wir jetzt unterſuchen wollen.

Die Wirkung jedes Planeten auf die Erde verurſacht, daß die Knoten dieſer Planetenbahn mit der Ekliptik, ohne Aendrung der Neigung, beſtändig zurück weichen, d. h. daß der Pol der Ekliptik um den Pol der ſtörenden Planetenbahn einen Kreis gegen die Ordnung der Zeichen, oder nach der rechten Seite, beſchreibt (§. 151.). Wenn nun (42. Fig.) 42. Fig.
AQ der Aequator, **P** deſſen Pol, **♈L** die Ekliptik, **E** ihr Pol, **☊B** die ſtörende Planetenbahn, **Q** ihr Pol iſt, ſo daß **☊** mit **♈** zuſammen fällt, oder die Länge des **☊** = 0 iſt, ſo beſchreibt **E** um **Q** einen Kreisbogen **Ee** rechts, der auf **QE** und **PE** ſenkrecht iſt: folglich iſt die neue Schiefe der Ekliptik, die mit der Entfernung der Pole **Pe** einerley iſt, der vorigen **PE** gleich, d. h. die Schiefe leidet gar keine Aendrung; allein der Kolur der Sonnenwenden rückt von **EPL** in die Lage **ePl**, die Solſtitialpunkte gehn von **L** nach **l** links, mithin haben auch die Aequinoktialpunkte die immer 90° von je-

nen entfernt sind, eine rechtgängige Bewegung. Eben dies ist noch der Fall, wenn Q, folglich auch der ☊ der Planetenbahn, etwas weiter nach der Ordnung der Zeichen vorgerückt ist, so daß der Pol in q, der ☊ in N liegt, und seine Länge = ♈N ist. Nun beschreibt E den Kreisbogen Eε senkrecht auf Eq: der neue Kolur εPl fällt links von EPL, oder die Aequinoktialpunkte rücken vor, und Pε ist kleiner als PE oder Pe, d. h. die Schiefe nimt ab. Im ersten Quadranten der Länge des ☊ leiden also die Aequinoktialpunkte eine rechtgängige Bewegung, die Schiefe der Ekliptik eine Abnahme.

Wenn aber der Pol der Planetenbahn um mehr als 90° von EA vorgerückt ist, und z. B. in ε liegt, so daß die Länge des ☊ größer als 90° aber kleiner als 180° ist, so bewegt sich der Pol der Ekliptik E um ε durch den Bogen Ef rechts, und kömmt dem Weltpol P gleichfals näher, oder die Schiefe nimt ab; der neue Kolur fPm aber fällt rechts von EPL. Im zweyten Quadranten der Länge des ☊ leiden also die Aequinoktialpunkte eine rückgängige Bewegung, die Schiefe der Ekliptik eine Abnahme.

Im dritten Quadranten, wenn der Pol der Planetenbahn über EP hinaus in f fällt, so daß die Länge des ☊ zwischen 180° und 270° fällt, ist Eg die Bewegung des Pols der Ekliptik, nämlich rechts um f, die Schiefe Pg wird größer als PE, und der neue Kolur gPm fällt rechts von EP. Im dritten Quadranten der Länge des ☊ haben also die Aequinoktialpunkte eine rückgängige Bewegung, und die Schiefe der Ekliptik nimt zu.

Im vierten Quadranten endlich, wenn der Pol der Planetenbahn in g liegt, also die Länge des ☊ zwischen A und ♈ größer als 270° ist, wird Eq die Bewegung des Pols der Ekliptik, der Kolur qPl fällt links von EPL, und die Schiefe Pq ist größer als PE: die Aequinoktialpunkte haben eine rechtgängige Bewegung, und die Schiefe der Ekliptik nimt zu.

Die Länge des ☊ des ☿, der ♀, des ♂ und ☉, ist kleiner als 90°, die des ♄ und ♃ aber fällt zwischen 90° und 180° (Th. §. 124. 147.). Die Wirkung aller Planeten auf die Erde hat also eine Abnahme der Schiefe der Ekliptik zur Folge; die Wirkung des ♄ und ♃ verursacht eine rückgängige, die der übrigen Planeten eine rechtgängige Bewegung der Aeqvinoktialpunkte, und diese letztre Wirkung besonders der Venus, ist wegen der größern Nähe weit beträchtlicher als jene, so daß die Bewegung im ganzen rechtgängig ist. Berechnet man nun die Wirkung jedes einzelnen Planeten im Verhältniß seiner Masse, und bringt alle diese Wirkungen in eine Summe, so ergibt sich, daß durch die vereinigte Wirkung aller Planeten auf die Erde, die Aeqvinoktialpunkte jährlich um den 4ten Theil einer Sekunde vorrücken, die Schiefe der Ekliptik aber in 100 Jahren um 50″ bis 60″ abnimt.

Aendrung der Schiefe der Ekliptik.

§. 156. Dieses letztre ist die Ursache der fortwährenden Abnahme der Schiefe der Ekliptik, die man seit 2000 Jahren bemerkt hat, und die eine wahre Bewegung der Ekliptik ist, wodurch sich ihre Pole den Polen des Aeqvators nähern (Sph. §. 67. 68.). Man würde sich aber sehr irren, wenn man hieraus schließen wolte, daß die Schiefe immer abnehmen wird. Wir haben überhaupt gesehn, daß es von der Lage der Knoten der Planetenbahnen abhängt, ob die Schiefe der Ekliptik ab oder zunimt (§. 155.), und wir wissen, daß die Knoten selbst ihre Lage beständig ändern (§. 154.). Es muß also nothwendig diese Lage einmal so gänzlich geändert werden, daß die Abnahme der Schiefe sich in eine Zunahme verwandelt, wenn nämlich der ☊ des mächtigsten Planeten eine Länge von mehr als 180° erhält. Vergleicht man die allgemeinen Formeln für die Bewegung der Ekliptik mit den bekannten Bewegungen der Knoten aller Planetenbahnen, so findet man durch eine genaue Rechnung,

1) daß alle Aendrungen der Schiefe der Ekliptik nur periodische Schwankungen sind, so daß sie bald ab bald zunimt, daß aber jede einzelne Periode dieser Schwingungen Jahrtausende umfaßt;

2) daß in keinem Fall die Schiefe der Ekliptik größer als 29° oder kleiner als 18° werden kann;

3) daß in einem Zeitraum von 65000 Jahren, dessen Mitte mit unserm jetzigen Zeitalter sehr nahe zusammen fällt, die Schiefe sich nicht mehr als von $27^{\circ}\,48'$ bis $20^{\circ}\,34'$ ändern kann, so daß der jetzige Werth von $23^{\circ}\,28'$ dem mittlern sehr nahe kömmt;

4) daß sie in diesem Zeitraum (wenn man sich ihn als wirklich denken darf), während der ersten 15000 Jahre ab, dann bis 2000 Jahre vor Chr. Geb. zugenommen hat, und daß sie jetzt bis zum Jahr 6700 der christlichen Zeitrechnung ab, dann 13000 Jahre zu, und dann wider 15000 Jahre abnehmen wird.

und der Aequinoktial-Punkte.

§. 157. Die aus der vereinigten Wirkung sämmtlicher Planeten entstehende rechtgängige Bewegung der Aequinoktialpunkte von $\frac{1}{4}''$ in einem Jahr (§. 155.), ist von dem schon von Hipparch entdeckten Vorrücken der Nachtgleichen (Sph. §. 65.) ganz verschieden, obgleich beyde Wirkungen sich so mit einander vermischen, daß sie sich durch die Beobachtungen nicht trennen lassen. Jene ist eine rechtgängige, diese eine rückgängige Bewegung der Aequinoktialpunkte; jene besteht in einer Verrückung der Ekliptik, diese des Aequators (Sph. §. 66.); jene beträgt jährlich nur $\frac{1}{4}$, diese über 50"; jene entsteht aus der Wirkung der Planeten auf die Erdbahn (§. 155.), diese, wie wir unten sehen werden, aus der Attraktion der Sonne und des Monds auf die eingedrückte Erdkugel; die letztre endlich ist gleichförmig, weil sie von der unveränderlichen Figur der Erde abhängt, die erstre aber ändert sich nach und nach, weil die Knoten der Planeten, von denen sie abhängt, ihre Lage ändern, und muß sogar einmal in

rückgängige Bewegung übergehn, wenn der ☊ der Venus eine Länge von mehr als 90° erhält (§. 155.).

Wegen der gleichförmigen rückgängigen Bewegung der Aequinoktialpunkte von 50″, ist das tropische Jahr um 20 Min. kürzer als das wahre oder Stern-Jahr (Sph. §. 97. 98.); dieser Unterschied wird aber größer werden, wenn die veränderliche rechtgängige Bewegung von $\frac{1}{4}$″ abnimt, oder gar rückgängig wird: woraus folgt, daß das wahre tropische Jahr nicht von gleicher Dauer seyn kann, sondern sich, wiewol unmerklich und in langen Perioden, ändert. Da diese Aendrungen periodisch sind, so muß es einen gewissen mittleren Werth des tropischen Jahrs geben, der von dem beständigen oder gleichförmigen Theil der Bewegung der Aequinoktialpunkte von 50$\frac{1}{4}$″ abhängt. In der That findet man durch die Rechnung,

1) daß dieses mittlere tropische Jahr nur um etwa 5 Sek. kleiner als die jetzige Länge des Jahrs ist;

2) daß das wahre Jahr nie um mehr als $3\frac{2}{3}$ Min. vom mittlern abweichen kann, daß also im ganzen Lauf der Ewigkeit nie zwey Jahre vorkommen können, die um mehr als 7 Min. von einander verschieden wären;

3) daß das Jahr 3192 vor Chr. Geb. seit vielen Jahrtausenden das längste war, aber doch das mittlere Jahr nur um 47 Sek. übertraf;

4) daß von diesem Jahr an, also seit den ältesten astronomischen Beobachtungen, die Länge des Jahrs beständig abgenommen hat, und beynahe noch 6000 Jahre abnehmen wird, in 3 bis 400 Jahren dem mittleren gleich, im Jahr 7640 aber um 47 Sek. kleiner seyn, und dann wider zunehmen wird.

Aendrung der Länge und Breite der Sternz.

§. 158. Man begreift leicht, daß durch die Verrückung der Erdbahn, auch die relative Lage der sonst unbeweglichen Sterne in Ansehung dieser Ebne, d. i. ihre Länge und Breite Aendrungen leiden muß: und dies ist eben der Grund von der schon oben erwähnten scheinbaren Bewegung der Sterne

(Sph. §. 68.). Der ☊ desjenigen Planeten der vorzüglich auf die Erde wirkt, der Venus, liegt im ersten Quadranten der Ekliptik ♈ M L (42. Fig.), und zwar in ihrem 75sten Grade (Th. §. 124.): der Pol ihrer Bahn ist also von E Q A um 75° entfernt, und hat die Lage q, so daß der Pol der Ekliptik E den auf q E senkrechten Bogen E ε beschreibt (§. 155.), der auf 75°, oder vielmehr, weil sich die Wirkung der übrigen Planeten damit vermischt, auf 80° der Ekliptik in M zu geht. Der Nordpol der Ekliptik E nähert sich also am meisten denjenigen Sternen, die in dem Breitenkreise R M S liegen, oder eine Länge von 80° haben, so wie er sich am meisten von denjenigen entfernt, die in der andern Hälfte dieses Kreises auf der hintern Seite der Sphäre liegen; und hiedurch wird natürlich die Breite der nordlichen Sterne in M R vermehrt, die südliche Breite aber der Sterne in M S vermindert: mit den entgegen gesetzten Sternen, deren Länge 260° ist, verhält es sich umgekehrt. Die grösste Aendrung die die Breite eines Sterns hiedurch in 100 Jahren leiden kann, beträgt bey der jetzigen Vertheilung der Knoten aller Planetenbahnen 63″: und dies alles stimmt mit den Beobachtungen vollkommen überein. Die Aendrung der Länge der Sterne hängt vorzüglich von ihrer Breite ab, und kann für Sterne die dem Pol der Ekliptik nahe liegen, alle Gränzen übersteigen, so daß sich ihre Länge plötzlich um 180° ändert, wenn der Pol über einen Stern weg rückt, der zwischen E und ε liegt.

Seknlar-Gleichung der Apsiden und Ekzentrizität.

§. 159. Die Aendrungen die die eigentlichen elliptischen Elemente einer Planetenbahn, nämlich die Lage der Apsiden und die Ekzentrizität, durch die Perturbationen eines andern Planeten leiden, hängen natürlich von der Form und Lage beyder Ellipsen, aber auch von ihrer Entfernung, oder von dem Verhältniß ihrer Entfernungen von der Sonne ab; also von der größern oder geringeren Ekzentrizität, der Lage beyder Sonnenfernen, und der Größe der Axen. Dieser dop-

pelte Zusammenhang ist so verwickelt, daß wir unsern Lesern, ohne ihnen die Rechnung selbst zu erklären, nur das allgemeine Resultat derselben mittheilen können.

Jeder Planet bewirkt durch seine Attraktion auf jeden andern, eine Bewegung seiner Apsidenlinie und eine Aendrung seiner Ekzentrizität, wovon die erstre, nach der verschiedenen Größe, Form und Lage beyder Bahnen, sowol rechtgängig als rückgängig, die letztre so wol eine Abnahme als Zunahme seyn kann. Aus den beyden Tafeln (Th. §. 147. S. 240.) sieht man, daß die Apsiden aller Planeten, mit Ausnahme der ♀, jetzt eine rechtgängige Bewegung haben; daß diese Bewegung beym ♄ am schnellsten, bey der ♀ und dem ☉ am langsamsten ist; daß nur die Ekzentrizität des ♃, ♂, und ☿ zunimt, d. h. daß ihre Bahnen sich jetzt mit jedem Jahr mehr vom Kreise entfernen, oder länglichter werden, die Bahnen der übrigen Planeten aber sich mit jedem Jahre mehr dem Kreise nähern; daß endlich die Aendrung der Ekzentrizität am beträchtlichsten beym ♄, beym ☿ am unbedeutendsten ist. Man muß hiebey aber eine sehr wichtige Bemerkung nicht vergessen. Da diese Aendrungen von der Lage der Apsiden und der Ekzentrizität abhängen, die hiedurch immer fort geändert werden, so können jene Aendrungen nicht immer von derselben Art seyn; und es scheint, daß die Apsiden und die Ekzentrizität, durch ihre beständige Aendrung, nach Jahrtausenden endlich eine solche Lage und Größe erhalten müssen, daß die rechtgängige Bewegung in rückgängige, und die Abnahme in Zunahme übergeht. In der That ist dies der Fall bey der Ekzentrizität, aber nicht bey den Apsiden: diese schwanken zwar auch in unermeßlichen Perioden hin und her, aber aller dieser Schwingungen unerachtet rücken sie mit jedem Jahr etwas weiter vor; und es ist dies wirklich die einzige wahre Sekular-Gleichung, die es in unserm Sonnen-System gibt, weil der Ausdruck für die Bewegung der Apsiden,

außer den periodischen Gliedern, eins enthält, welches der Zeit proportional ist, also ohne Aufhören wächst.

Aendrungen der Bahnen ♄ u. ♃,

§. 160. Es gibt vielleicht keinen interessanteren Theil der Sternkunde, und keinen größern Gegenstand für unsern Geist, als die allgemeine Uebersicht der Aendrungen, denen die Planeten-Bahnen im Lauf der Ewigkeit unterworfen sind. Es ist hier nicht die Rede von der Bewegung der Planeten, noch weniger von den Revolutionen die auf ihnen vorgehen, oder von den Beschäftigungen der mikroskopischen Geschöpfe die sie bewohnen; sondern von der Bewegung der Bahnen selbst, von der Verrückung und Biegung der Ringe, aus denen die große Armillar-Sphäre zusammen gesetzt ist, die wir das Sonnen-System nennen. Diese Bewegungen, so weit wir sie durch die mühsamsten Rechnungen, die durch die Beobachtungen vollkommen bestätigt werden, kennen, sind folgende. Die Länge der Knoten, die Neigung und Ekzentrizität aller Planetenbahnen, nimt bald ab, bald zu: diese Elemente müssen also einen mittleren Werth haben, von dem sie sich in bestimmten Perioden, nach beyden Seiten nie über eine gewisse Gränze entfernen. Nur die Apsiden haben eine immerwährende rechtgängige Bewegung, die aber wegen der Aendrung der Elemente von denen sie abhängt, verschiedene Modifikationen leidet, so daß sie bald langsamer bald schneller wird. Diese Modifikationen haben ebenfalls ihre bestimmten Perioden und Gränzen, wodurch die Bewegung einen mittleren Werth erhält, so daß sich für jede Epoche eine mittlere Länge der Sonnenferne angeben läst, die, wenn man von den periodischen Schwankungen abstrahirt, mit jedem Jahre zunimt. Einige Beyspiele werden dies deutlich machen.

Die beyden grösten Planeten unsers Systems, Jupiter und Saturn, kommen sich so nahe, daß ihre gegenseitige Attraktion diejenige, die sie von den übrigen kleineren und entfernteren Planeten leiden, weit überwiegt; so daß sie gleich-

sam ein System für sich ausmachen, in welchem merkwürdige Verhältnisse statt finden.

Der mittlere Ort des ☊ beyder Planeten ist genau derselbe, und fällt in 104° der Ekliptik. Um diesen mittlern Ort tanzen die wahren Knoten unaufhörlich hin und her, und befinden sich immer an verschiedenen Seiten desselben: so lag im Anfange dieses Jahrhunderts der ☊ ♄ 7° bis 8° östlich, der ☊ ♀ aber 6° westlich vom mittlern Knoten (Th. §. 124.). Die wahren Knoten des ♄ und des ♀ entfernen sich von dem mittlern (104°) nie um mehr als 32° und 13°; und eine Zeit von 50662 Jahren umfaßt alle periodischen Aendrungen so wol der Knoten als der Neigung, welche letztre nie die Gränzen von 47′ bis 2° 33′ beym ♄, und von 1° 17′ bis 2° 3′ beym ♀ übersteigen kann. In die Jahre 20600 vor, und 30060 nach Chr. Geb. fällt die gröste Neigung ♄ und die kleinste ♀, in das Jahr 4734 unsrer Zeitrechnung die kleinste Saturns, und die gröste Jupiters; und in diesen drey Jahren fallen zugleich die Knoten beyder Planeten mit dem mittlern in 104° zusammen. Im Jahr 12400 vor Chr. Geb. hat die Länge des ☊ ♄ ihren grösten Werth von 136°, im Jahr 21900 nach C. G. ihren kleinsten von 72°; beym ♀ fällt der kleinste Werth von 91° in das Jahr 6100 vor C. G. und der gröste von $117\frac{1}{2}°$ in das Jahr 15550 nach C. G. Die Ebnen beyder Bahnen sind also beständig in einer schmalen Zone eingeschlossen, die sich nie über $2\frac{1}{2}°$ von der Ekliptik nach beyden Seiten entfernt, und die Ebnen gebrauchen 25 Jahrtausende, um sich durch die kleinen Winkel von 1° 46′ und von 46′ zu drehn. Die ☊ des ♄ und ♀ sind immer an verschiedenen Seiten von 104° der Länge, und machen immer entgegen gesetzte Bewegungen; aber alle 25000 Jahre begegnen sie einander in 104° der Ekliptik.

Alle periodische Aendrungen der Ekzentrizität des ♄ und ♀ füllen mehr als 65 Jahrtausende aus, in welcher Zeit sie

zweymal ihren mittlern Werth, einmal den grösten, und einmal den kleinsten erreichen. Im Jahr 16000 vor C. G. war die Saturns-Bahn am länglichsten oder am meisten eingedrückt, Jupiters Bahn aber am wenigsten; im Jahr 17000 nach C. G. wird jene sich dem Kreise am meisten nähern, und diese ihre länglichste Form haben. Die Gränzen in denen die davon abhängende gröste Gleichung des Mittelpunkts eingeschlossen ist, sind beym ♄ 1° 13′ und 9° 39′, beym ♃ 2° 52′ und 6° 54′; so daß keine von beyden Bahnen je dem Kreise so nahe als die Venus-Bahn kömmt, oder so länglicht als die Mars-Bahn wird.

Saturns Apsiden rücken jährlich um 23″ vor, die des Jupiters um 3″. Diese gleichförmige oder mittlere Bewegung wird aber durch die Veränderung der Lage der Planeten-Bahnen gestört, und die danach berechnete mittlere Sonnenferne erfodert eine Korrektion, die bald addirt bald subtrahirt werden muß, und die sich beym ♄ auf 51°, beym ♃ auf $24\frac{1}{2}°$ beläuft. Die Periode dieser Gleichung begreift ebenfalls 65000 Jahre.

und der übrigen Planeten.

§. 161. Die Verrückung der Ebne der Erdbahn ist bereits erklärt (§. 155. 156.). Es folgt daraus, daß die Ebne, auf welche die Astronomen alles reduziren, keine unwandelbare Lage hat, sondern sich immer fort bewegt. Will man sich daher einen deutlichen Begriff von der Bewegung aller Planeten-Bahnen machen, so muß man irgend eine feste Ebne annehmen, auf die man selbst die Bewegung der Ekliptik reduzirt; und es ist natürlich, hiezu eine Ebne an zu nehmen, mit der die Ekliptik wirklich zu irgend einer Zeit zusammen fiel, z. B. im Jahr 1750: diese Ebne könnte man die mittlere Ekliptik nennen, zum Unterschiede der wahren in der sich die Erde wirklich bewegt. Mit dieser Ebne wird die wahre Ekliptik bald größere bald kleinere Winkel machen, und sie immer in andern Punkten schneiden, die man die Knoten der Erdbahn nennen kann. Die Perturbations-Rechnung er-

gibt, daß dieser ☊ 1750 in 170° der Ekliptik lag, d. h. daß die wahre Ekliptik oder Erdbahn in diesem Punkt anfing, sich 1750 von der mittlern Ekliptik zu trennen, oder sich um sie nach Norden zu drehn; und daß die wahre Ekliptik sich von der mittlern nie um mehr als $5\frac{1}{2}°$ entfernen kann. — Auf eben die Art findet man, daß die Bahnen des ♂, der ♀, und des ☿, sich nie um mehr als 5° 29′, 5° 6′, und 7° 58′, von der Ekliptik entfernen können.

Die Gränzen die die Ekzentrizitäten nie überschreiten können, sind bey der Erde 0,076; beym Mars 0,147; bey der Venus 0,083; beym Merkur 0,222; welches die Gleichungen des Mittelpunkts von 8° 44′, 17° 2′, 9° 32′, und 26° 4′ gibt. Die wirklichen Gränzen sind aber weit enger: so war z. B. die Ekzentrizität der Erdbahn 8400 Jahre vor C. G. am gröſten, nämlich 0,019; sie wird bis zum Jahr 23300 beständig abnehmen, da sie ihren kleinsten Werth von 0,0046 erreicht, und dann wider zunimt. In dieser Periode von 32 Jahrtausenden, die unsre Zeit und die ältesten astronomischen Beobachtungen einschliest, nimt also die Ekzentrizität der Erdbahn beständig ab.

Sekular-Gleichung der mittleren Bewegung.

§. 162. Wir haben nunmehr die aus den Perturbationen entstehenden Aendrungen und Bewegungen der meisten Elemente der Planeten-Bahnen kennen gelernt, nämlich der Knoten und Neigung, der Apsiden und der Ekzentrizität: erstre beyden bestimmen die Lage der Ebnen gegen die Ekliptik, letztre die Form der Ellipsen, so wie die Apsiden ihre Lage. Man wird aber bemerkt haben, daß von einem sehr wichtigen Element bisher nichts gesagt ist, nämlich von der groſen Axe der Planeten-Bahnen, wodurch ihre absolute Gröſe bestimmt wird, und wovon ihre Umlaufszeit um die Sonne so wie ihre mittlere Bewegung abhängt. Der Grund hievon ist der, daß dies das einzige Element ist, welches durch alle Perturbationen nicht im geringsten geändert wird. Es ist dies eine der wichtigsten Entdeckungen die die Sternkunde der neuern Ana-

lyse verdankt, und aus der sich, wie wir unten sehn werden, Folgen ziehn lassen, die nicht bloß für den Astronomen, sondern auch für den Philosophen das gröste Interesse haben. Es wurden die feinsten Kunstgriffe der Analyse, und die schärfsten, bis ins kleinste Detail eindringenden Rechnungen erfodert, um endlich das befriedigende Resultat zu finden, „daß „unter allen Elementen der Planeten-Bahnen die große Axe „oder die mittlere Bewegung das einzige ist, welches sich immer gleich bleibt, ohne durch die Perturbationen die geringste Aendrung zu leiden". Wenn man nämlich den analytischen Ausdruck für die Aendrung dieses Elements gefunden hat, der gleich allen übrigen aus vielen Gliedern besteht, die aus den Wirkungen sämmtlicher Planeten zusammen gesetzt sind, und nun in dieser allgemeinen Formel die Zahlen oder absoluten Größen substituirt, die durch die astronomischen Beobachtungen und unsre Kenntniß vom Sonnen-System gegeben sind, so findet sich, daß alle jene Glieder einander aufheben, so daß die ganze Formel verschwindet. Die Umlaufszeiten der Planeten sind also unveränderlich; das Jahr bleibt ewig von derselben Größe, und leidet nur periodische Aendrungen, die sich nach bestimmten Zeiten immer wider ersetzen (§. 157.). Diese Entdeckung ist desto wichtiger, da es wirklich zwey Phänomene in unserm Sonnen-System gibt, die man lange für wahre Sekular-Gleichungen der mittleren Bewegung hielt, und die wir nun noch erklären müssen.

besonders des ☾, §. 163. Wir haben gesehen (Th. §. 171.), daß seit den ältesten Beobachtungen die mittlere Bewegung des Mondes immer schneller wird, so daß er in jedem folgenden Jahrhundert 10″ bis 11″ mehr durchläuft als im vorhergehenden; daß folglich diese so genannte Sekular-Gleichung des Mondes dem Qvadrat der Zeit proportional ist, und für jede Zeit von einer angenommenen Epoche an zur Länge des Monds addirt werden muß, die Zeit mag vor der Epoche vorher gehn oder auf sie folgen. Man würde sich aber sehr übereilen,

wenn man hieraus schließen wolte, daß diese Sekular-Gleichung beständig positiv oder eine Acceleration seyn wird: es folgt nur für den Zeitraum von den ältesten astronomischen Beobachtungen bis auf unsre Zeit, und es ist wahrscheinlich, daß sie, so wie die Gleichung des tropischen Jahrs (§. 156.) und andre, endlich in eine Verzögrung übergehn wird, wenn die Elemente von denen sie abhängt, eine entgegen gesetzte Aendrung annehmen. Alles dies stimmt mit der Theorie der Perturbationen aufs vollkommenste überein, und beruht auf folgenden Gründen.

Es gibt in der Monds-Theorie Gleichungen, wie z. B. die jährliche (§. 145.), die von der Ekzentrizität der Erdbahn abhängen, folglich gar nicht statt haben würden, wenn die Erdbahn ein Kreis wäre, die aber desto größer oder kleiner seyn müssen, je größer oder geringer ihre Ursache, die Ekzentrizität der Erde ist. Obgleich also diese Gleichungen selbst periodisch sind, und in jedem Jahr ihren größten und kleinsten Werth erhalten, so wird dieser größte Werth doch nur dann in jedem Jahr von derselben Größe seyn, wenn die Ekzentrizität der Erde sich nicht ändert; da dies aber allerdings der Fall ist (§. 161.), so machen diese Aendrungen Korrektionen jener Gleichung nöthig, so daß die jährliche Gleichung jedes Jahres von der des vorigen Jahres verschieden ist. Statt aber die Gleichung in jedem Jahre zu ändern, haben die Astronomen es bequemer gefunden, derselben einen beständigen oder mittleren Werth zu geben, und jene Korrektion beym Monde unmittelbar an zu bringen, oder als eine besondre Gleichung der Länge des Monds zu gebrauchen, die so lange immer zunimt, als die Ekzentrizität der Erde sich auf dieselbe Art ändert, folglich wegen der ungeheuren Perioden dieser Aendrung das Ansehn einer wahren Sekular-Gleichung erhält. Die Berechnung der Perturbationen hat gezeigt,

1) daß aus der Aendrung der Ekzentrizität der Erdbahn eine Gleichung der Länge des Monds entsteht, die aus meh-

reren Gliedern besteht, wovon das vorzüglichste dem Quadrat der Zeit proportional ist, und jetzt 11″ in 100 Jahren beträgt;

2) daß diese Gleichung jetzt positiv ist, und so lange zur Länge des Monds für alle vergangene und künftige Zeiten addirt wird, als die Ekzentrizität der Erde abnimt, welches schon seit 10000 Jahren der Fall ist (§. 161.);

3) daß aber diese Gleichung negativ werden wird, oder von der Länge des Monds zu subtrahiren ist, so bald die Ekzentrizität der Erdbahn ihren kleinsten Werth erreicht hat, und wider anfängt zu zu nehmen.

Die Sekular-Gleichung der mittlern Bewegung des Monds ist also von 8400 vor C. G. bis 23300 nach C. G. positiv; aldenn aber wird sie verschwinden, und in der Folge subtrahirt werden müssen. — Die Sekular-Bewegung des Monds, d. h. der Winkel den er in 100 Jahren um die Erde beschreibt (die ganzen Umläufe eingeschlossen), ist jetzt um 3° 49′ größer als die eigentliche mittlere Sekular-Bewegung; sie war 8400 vor C. G. um 20′ kleiner als sie jetzt ist, und wird 23300 nach C. G. um 1° 6′ größer als jetzt seyn, und dann wider abnehmen: so daß die mittlere Bewegung des Monds in einem Jahrhundert, während dieses ganzen Zeitraums von 32000 Jahren, nur um 1° 26′ zunimt, und dann wider abnehmen wird. In andern Perioden aber kann die Sekular-Bewegung sich mehr ändern, und die äußerste Gränze die diese Aendrung nie übersteigen kann, ist 9°.

Dieselbe Ursache (die Aendrung der Ekzentrizität der Erdbahn) bewirkt zugleich eine Sekular-Gleichung der Bewegung der Knoten und Apsiden des Monds, die jetzt eine Verzögrung ist, und es so lange seyn wird, als die Bewegung des Mondes selbst beschleunigt wird. Jene Retardationen und diese Accelleration verhalten sich beständig wie die Zahlen $\frac{3}{4}$, 3, und 1; so daß die gröste mögliche Aendrung der Sekular-Bewegung der Knoten und der Apsiden 7° und 27° beträgt. Da nun die Bewegung der Knoten rückgängig, die

der Apsiden aber rechtgängig ist (§. 146. 148.), die Retardation jener also ein wirkliches Vorrücken der Knoten ist, so folgt, daß der Mond sich von den Knoten langsamer, von den Apsiden aber schneller entfernt, als er ohnedem gethan haben würde; und die Beschleunigungen der mittlern Bewegung des Monds gegen die Knoten, die Apsiden, und die Aeqvinoktialpunkte, verhalten sich wie die Zahlen $\frac{1}{4}$, 4, und 1.

Es ist in der That merkwürdig, daß die Aendrung der Ekzentrizität der Erde sich weit deutlicher gleichsam durch Reflexion an der Mondbahn, als durch ihr eigenes Licht an der Erdbahn selbst zeigt. Seit 2500 Jahren hat sich die Gleichung des Mittelpunkts der Erde dadurch nur um 8′ geändert, indeß die Länge des Monds um fast 2°, und seine mittlere Anomalie um mehr als 7° dadurch zugenommen hat. Dies gibt ein neues engeres Band zwischen dem Planeten den wir bewohnen, und unserm treuen Begleiter, dem Monde, dessen Bahn gleichsam ein Hohlspiegel ist, der uns die Aendrungen unsrer eigenen Bahn, und wie wir unten sehn werden, sogar die Figur unsers Planeten, vergrößert zurück wirft.

§. 164. Das zweyte Phänomen welches einer Sekular- und des ♄ u. ♃.
Gleichung der mittlern Bewegung ähnlich ist, findet beym Saturn und Jupiter statt, die gleichsam ein isolirtes System ausmachen. Die neuern Astronomen bemerkten durch die Vergleichung der ältesten Beobachtungen bald, daß die mittlere Bewegung Jupiters, gleich der des Mondes, mit jedem Jahre schneller geworden sey, die des Saturns aber langsamer; und sie fanden es, um die Beobachtungen zu vereinigen, nöthig, eine wirkliche Sekular-Gleichung der mittlern Bewegung in den Tafeln ein zu führen, die beym ♃ addirt, beym ♄ subtrahirt werden solte. Alle Mühe aber, die man sich gab, eine solche Gleichung durch die Theorie zu erklären, war umsonst, und führte auf ganz widersprechende Resultate. Selbst die Beobachtungen widersprachen bey genauerer Untersuchung einer wirklichen Sekular-Gleichung: denn wenn man

bloß die des letzten Jahrhunderts mit einander verglich, so ergab sich, daß die Bewegung Jupiters langsamer, und die Saturns schneller werde. Nachdem endlich durch die Theorie selbst bewiesen war, daß es keine eigentliche Sekular-Gleichung gebe (§. 162.), so muste man diese Versuche ganz aufgeben. Um dieses Räthsel auf zu lösen, war kein andres Mittel, als unter den unzähligen Perturbationen, die in dem Archiv der Theorie vielleicht noch unbenutzt oder vernachlässigt lagen, eine solche Gleichung auf zu suchen, die eine Periode von sehr langer Dauer hat, und dadurch das Ansehn einer Sekular-Gleichung erhält. Dem grösten Geometer unsrer Zeit, dem Herrn La Place, dem die Sternkunde so viel zu danken hat, verdankt sie auch diese große Entdeckung; und um unsern Lesern einen deutlichen Begrif davon zu machen, müssen wir sie wenigstens einen Blick in das Labyrinth dieser Rechnungen thun lassen.

Wenn nt, $n't$, die mittlern Bewegungen zweyer Planeten in derselben Zeit t vorstellen, und i, i', jede ganze Zahl, sie sey positiv oder negativ, ausdrücken, so hat jede Gleichung der Länge, die aus den gegenseitigen Perturbationen dieser beyden Planeten entsteht, folgende Form

$$A. \sin (int + i'n't + C) = E,$$

d. h. sie ist dem Sinus des Winkels $int + i'n't$, zu dem noch ein beständiger Winkel C addirt seyn kann, multiplizirt in eine Größe A, die man den Koeffizienten der Gleichung, so wie $int + i'n't$ ihr Argument nennt, gleich. Die Theorie der Perturbationen lehrt, daß der Koeffizient A auf folgende Art aus dem Argument $(in + i'n')t$ entsteht. Er wird 1) in diejenige Potenz der Ekzentrizität oder Neigung beyder Planeten multiplizirt seyn, die dem Unterschiede beyder Zahlen i, i', gleich ist; aus welchem Grunde jede Gleichung desto kleiner wird, je größer dieser Unterschied ist, weil alle Ekzentrizitäten und Neigungen sehr kleine Brüche sind: die geringe Größe dieser Elemente allein macht es möglich, die Perturbationen zu berechnen, indem man sich erlaubt, die Gleichun-

gen, in denen i und i' um mehr als 3 oder 4 verschieden sind, weg zu lassen. 2) Da die Gleichung durch zweymalige Integration der Fundamental-Gleichungen (§. 93. n. 3.) gefunden wird, und bey jeder Integration der Koeffizient durch $in + i'n'$ dividirt wird, so muß A durch das Qvadrat von $in + i'n'$ dividirt seyn, wodurch die Gleichung wider einen sehr großen Werth erhalten kann, wenn $in + i'n'$ ein kleiner Bruch ist. Nun sieht man leicht, daß die Gleichung E periodisch ist, und zwar diejenige Zeit zur Periode hat, in welcher der Sinus alle möglichen Werthe durch geht, d. h. in welcher der Winkel $(int + i'n't)$ sich von o bis 360° oder wieder bis o ändert; und man darf nur solche Werthe für i und i' aufsuchen, daß dazu eine sehr lange Zeit erfodert wird. Die mittlern Bewegungen des ♄ und ♃, n und n', sind so beschaffen, daß dazu die lange Zeit von 930 Jahren erfodert wird, wenn man $i = +5$ und $i' = -2$ setzt, so daß die gesuchte Gleichung

$$E = A. \sin (5\ ♄ - 2\ ♃)$$

wird, wo ♄, ♃, die mittlern Längen dieser beyden Planeten bedeuten. Hier ist der Unterschied von i und $i' = 3$, also A in die dritte Potenz der Ekzentrizitäten multiplizirt, zugleich aber durch $(5n - 2n')^2$, welches ein sehr kleiner Bruch ist, dividirt, daher E einen beträchtlichen Werth erhält.

Die mittlern jährlichen Bewegungen des ♄ und ♃ sind, $43966'',5 = n$ und $109182'' = n'$, also $5n - 2n' = 1468'',5$ welches nur den 30sten Theil der jährlichen Bewegung des ♄ ausmacht. Da nun ♄ 30 Jahre zu einem ganzen Umlauf gebraucht (Th. §. 122.), so kann das Argument unsrer Gleichung $5n - 2n'$ nur in 900 Jahren um 360° zunehmen, und dies ist zugleich die Periode dieser Gleichung.

Die vollständige Entwicklung dieser Rechnung hat endlich folgendes Resultat gegeben.

1) Der Koeffizient A, oder der gröste Werth der Gleichung, ist für den ♄ = 49′, für den ♃ = 21′, und beyde Gleichungen verhalten sich beständig wie 7 zu 3.

2) Im Jahr 1560 war die Gleichung E = 0, so wie in den Jahren die um 465 Jahre von 1560 und von einander entfernt sind; in der Mitte aber jedes solchen Zeitraums von 465 Jahren erhält sie ihren gröstен Werth.

3) Die jährliche Bewegung Saturns war am gröstен, nämlich um 20″ größer als die mittlere in den Jahren 765 vor C. G. und 165, 1095, 2025 nach C. G.; sie war um 20″ kleiner als die mittlere, in den Jahren 300 vor C. G. und 630, 1560 nach C. G. In den erstern Epochen war Jupiters jährliche Bewegung um $8\frac{1}{2}$″ kleiner als die mittlere, in den letztern um eben so viel größer. Seit 1560 wird also wirklich die mittlere Bewegung Jupiters langsamer, und die des Saturns schneller.

Alles dies stimmt mit den Beobachtungen vollkommen überein, und diese wichtige Entdeckung gibt den schönsten Beweis von der Richtigkeit der Newtonschen Theorie, und von der großen Vollkommenheit der neuern Analyse.

Vierter Abschnitt.

Von der Rotation der Weltkörper.

Erstes Kapitel.

Figur der Weltkörper.

Einleitung.

§. 165. Die Sternkunde verdankt die ausgezeichneten Fortschritte die sie vor allen andern Wissenschaften gemacht hat, und den hohen Grad von Vollkommenheit, den man in den meisten übrigen Wissenschaften zu erreichen verzweifelt, großentheils der musterhaften Methode, die die Astronomen aller Jahrhunderte ohne Ausnahme befolgt haben, als hätte der Genius der Sternkunde ihre Schüler mit demselben Geiste beseelt. Das wesentliche dieser Methode besteht darin, bey jedem neuen Gegenstande damit an zu fangen, seine großen Züge auf zu fassen, ohne sogleich in das kleinliche ein zu gehen, eine allgemeine Regel für ihn auf zu finden, ohne sich um die Ausnahmen zu bekümmern, mit einer der Wahrheit nahe kommenden Kenntniß zufrieden zu seyn, ohne ängstlich eine Genauigkeit zu suchen, die nur Jahrhunderte von Beobachtungen gewähren können; mit einem Worte, das bloße Auge zu gebrauchen, ehr man das Mikroskop anwendete. So bemerkte man die allen Planeten gemeinschaftliche Bewegung

nach der linken Seite, ehr man sich um ihren Stillstand und Rückgang bekümmerte; so bestimmte man aus tausendjährigen Beobachtungen die mittlere Bewegung, um daraus in der Folge die Ausnahmen oder die Gleichung des Mittelpunkts her zu leiten; so entdeckte man vor 2000 Jahren das gleichförmige Zurückweichen der Aeqvinoktialpunkte, welches lange unbekannt geblieben seyn würde, wenn man sogleich auf die schwankende Bewegung des Aeqvators Rücksicht genommen hätte; so war jede neue Entdeckung, strenge genommen, ein Irrthum, aber ein Irrthum der einen Schritt näher zur Wahrheit führte. Aus diesem Gesichtspunkt betrachtet, war es vielleicht ein Glück, daß die astronomischen Instrumente nur nach und nach zur Vollkommenheit gebracht wurden, so daß die ältern Beobachtungen gerade hinlänglich waren, die allgemeinen Regeln zu entdecken, die kleinen Ausnahmen aber sich von selbst dem Auge des Astronomen entzogen. Die Natur selbst schien die Menschen zu Astronomen zu erziehen; sie erdrückte die Kräfte ihrer Kindheit nicht durch zu verwickelte Kenntnisse; sie verbarg weislich, was ihnen noch zu schwer war, und reichte ihnen von Zeit zu Zeit, wenn sie die frühere Lektion begriffen, und ihren Geist zu höherem Studium gebildet hatten, aus ihrem Archiv ein neues Blatt, dessen Entzifferung ihren Fleiß und ihr Nachdenken Jahrhunderte beschäftigen konnte. Fast 2000 Jahre war die leichtere Theorie des Kreises zur Erklärung der planetärischen Bewegungen, wie sie den damaligen Beobachtungen erschienen, hinlänglich; und Tycho's genauere Beobachtungen ließen das Bedürfniß der elliptischen Theorie nur dann erst fühlen, als die mathematischen Wissenschaften die Fortschritte gemacht hatten, die nöthig waren um die neue Lehre zu begreifen. Die Perioden der verschiedenen himmlischen Bewegungen, ihrer Anomalien und Verrückungen, die wir im vorigen Kapitel kennen gelernt haben, sind gewiß weit verwickelter, als die Perioden auf denen unsre Witterung beruht; und doch sind jene längst entdeckt, da man hier noch

kaum einen Anfang gemacht hat; wir kennen weit genauer, was am Himmel, als was in der Erd-Atmoſphäre vorgeht, weil die Meteorologen, ſtatt dem Beyſpiel der Aſtronomen zu folgen, mit dem genaueſten Detail angefangen, und darüber die großen Revolutionen und Perioden aus dem Geſicht verloren haben.

Sphäriſche Geſtalt der Weltkörper.

§. 166. Dieſe Bemerkung findet auch bey der Beſtimmung der Figur der Weltkörper ihre Anwendung. — Wenn man die Gründe für die Kugel-Geſtalt der Erde (Th. §. 36 — 52.) ſorgfältig unterſucht, ſo wird man bemerken, daß nur eine ſehr geringe Aufmerkſamkeit nöthig war, um die erſten Aſtronomen zu überzeugen, daß die Erde gleich einer Kugel gekrümmt ſey; daß aber die mühſamſten Meſſungen und Rechnungen, die genaueſten Werkzeuge, und die höchſte Vollkommenheit der phyſiſchen und mechaniſchen Wiſſenſchaften erfodert wurden, um die faſt unmerklichen Abweichungen von der Kugel-Geſtalt zu entdecken, und daß wir noch jetzt von einer genauen Beſtimmung der Figur der Erde weit entfernt ſind. Alles was uns die Beobachtungen mit Gewißheit lehren, iſt, daß alle Weltkörper die wir näher betrachten können, gar nicht oder nur ſehr wenig von der Kugel abweichen, daß ſich aber bey ſchärferer Unterſuchung, ſo wol auf der Erde als andern Planeten, eine kleine Abweichung von dieſer Form findet, die darin beſteht, daß ſie an den Polen eingedrückt ſind. Von dieſer Vorliebe der Natur zur ſphäriſchen Form fanden die griechiſchen Philoſophen den Grund in der höhern Vollkommenheit derſelben; allein dieſer nicht ſo wol phyſiſche als metaphyſiſche Grund widerſpricht der Abplattung, die durch die Beobachtungen bewieſen iſt. Die Abplattung an den Polen iſt ohne allen Zweifel aus der Rotation der Weltkörper, und aus den Kräften die ſich dabey wirkſam zeigten, entſtanden; und dies allein beweiſt, daß die Weltkörper nicht vollendet aus der Hand des Schöpfers gekommen ſind, daß ſie urſprünglich weich genug waren, um den Zentral- und Schwung-Kräften

nach zu geben, und danach ihre Figur zu ändern, daß folglich auch die Kugel-Gestalt selbst eben so wol, als die Abweichungen davon, durch die Wirkung jener Kräfte entstanden seyn muß. Gesetzt, die Planeten wären kugelrund, wie aus einer Drechsler-Werkstatt, ins Daseyn getreten, so hätten sie entweder einen so hohen Grad von Härte haben müssen, daß keine Kraft ihre Gestalt ändern konnte — und dann hätte die Rotation sie nicht an den Polen eindrücken können — oder die sphärische Gestalt muste an sich diejenige Form seyn, an der die Kraft der Schwere nichts ändern konnte, weil es gerade diejenige ist, die der Planet durch die Schwere von selbst angenommen haben würde — und dies heist mit andern Worten, die Schwere hat den Weltkörpern wirklich die sphärische Form gegeben.

Ihre Bildung.

§. 167. So bald sich im ursprünglichen Chaos ein Körper von vorzüglicher Dichtigkeit fand, so muste sich alle Masse, die von ihm weniger als von irgend einem andern ähnlichen Körper entfernt war, durch die allgemeine Gravitation um ihn her anhäufen, also von der Materie trennen, die sich aus der nämlichen Ursache um einen andern ihr nähern dichten Körper anhäufte. So entstanden die einzelnen Weltkörper um einen dichten Kern, wie sich Feilspäne um den Magnet legen, oder auch um den gemeinschaftlichen Schwerpunkt, der nicht dichter zu seyn brauchte, wenn diese Masse durch irgend einen Zufall von der nächsten durch hinlängliche Zwischenräume getrennt war, um ein System für sich aus zu machen. Die Bildung der Weltkörper bestand also in einem allgemeinen Drängen zum Mittelpunkt, woraus nothwendig die Kugel-Gestalt entstehen muste, wenn die Masse nicht von sehr ungleicher Dichtigkeit war, weil der Druck von allen Seiten gleich groß, also kein Grund war, warum die Masse sich nach einer Richtung dem Mittelpunkt mehr genähert hätte, als nach der andern. Da es aber nicht wahrscheinlich ist, daß alle Materie von gleicher Dichtigkeit war, und da die dichtere Ma-

terie wegen der stärkeren Attraktion sich dem Mittelpunkt mehr nähern muste, so war die natürliche Folge hievon, daß alle Materie von gleicher Dichtigkeit sich in gleicher Entfernung um den Mittelpunkt herum legte; und so entstand eine Folge von Kugelschichten, die eine vollkommene Kugel bildete, in der die Materie nach dem Mittelpunkt hin immer dichter wird. Allein auch hiebey konnten viele Ausnahmen statt finden, die theils daraus entstanden, daß die dünnre Materie näher war als die dichtere, theils daraus, daß die ursprüngliche Ordnung der Kugelschichten durch die Wirkung späterer Revolutionen, durch Ebullitionen und Eruptionen, durch plötzliches Erhärten, ꝛc. gestört ward, woraus natürlich eine Aendrung der Dichtigkeit der verschiedenen Schichten, leere Zwischenräume, ꝛc. entstanden.

Diese Schlüsse zeigen uns nicht allein, daß man sich sehr irren würde, wenn man im Innern der Erde eine gleichförmige Dichtigkeit, oder auch nur eine regelmäßige Aendrung derselben suchen wolte, sondern auch, daß die wahre Gestalt der Weltkörper allerdings von der Kugel abweichen kann, wovon sich sogar deutliche Spuren auf dem Erdboden zeigen (Th. §. 52.). Alles was wir hier beweisen wolten, ist, daß die sphärische Form aus physischen Gründen die natürlichste ist, die die sich selbst überlassenen Weltkörper annehmen musten, und daß, wenn die Beobachtungen es bestätigen, diese Thatsache durch die allgemeine Gravitation vollkommen erklärt ist (Th. §. 39.).

§. 168. Es ist hiebey angenommen, daß der Weltkörper keine andre Bewegung habe, als die aus der gegenseitigen Attraktion seiner Elemente entsteht, und die in einem Drängen nach dem Mittelpunkt, einem Zusammenballen besteht: dies ist dieselbe Bewegung, die im Innern des ruhenden Queckſilbertropfens vorgeht, wodurch er sich gleich den Planeten zur Kugel bildet. Man begreift aber leicht, daß, wenn der ganzen Masse oder dem Zentralkern eine Bewegung nach irgend einer Richtung mitgetheilt ist, der sich bildende Weltkörper Schwungkraft

diese Bewegung ungestört fortsetzen wird, ohne daß seine Figur dadurch geändert wird, weil alle seine Elemente auf gleiche Art daran Theil nehmen. Allein die Sache ändert sich, so bald der Planet anfängt sich um eine Axe zu drehn: nun werden nicht mehr alle Theile auf gleiche Art beschleunigt, einige (die in der Axe) nehmen sogar an der Bewegung gar nicht Theil; die Elemente werden also, nach ihrer verschiedenen Lage gegen die Axe, sich auf mannigfaltige Art vom Mittelpunkt zu entfernen streben; einige werden sich mehr als die übrigen erheben, und die Kugelgestalt muß eine Aendrung leiden (Th. §. 68.).

Daß jeder Körper der sich im Kreise bewegt, dadurch einen Drang erhalten muß, sich vom Mittelpunkt seiner Bewegung zu entfernen, das folgt aus der Natur der Sache, und aus Erfahrungen die sich uns täglich darbieten. In jedem Punkt des Kreises hat der Körper eine bestimmte Richtung nach der linken oder rechten Seite, die sich wie jede Richtung, nur durch eine gerade Linie ausdrücken läst, und mit der Tangente des Kreises in diesem Punkt einerley ist (§. 89. 97.), welche außerhalb des Kreises liegt, und sich in jedem Punkt mehr von ihm entfernt: die Richtung des Körpers besteht also in einem Drange der Tangente zu folgen, oder sich vom Mittelpunkt des Kreises zu entfernen; und er würde sich wirklich längs der Tangente bis ins unendliche von ihm entfernen, wenn er nicht durch die Zentralkraft zurück gehalten würde. Dieses Bestreben sich vom Mittelpunkt zu entfernen, welches aus dem Schwunge eines Körpers im Kreise entsteht, wird seine Schwung-Kraft (vis centrifuga) genannt; ihr Maaß ist die kleine Linie, um die er sich wirklich, wenn er der Tangente folgte, vom Mittelpunkt entfernen würde, und die mit der Linie P π (29. Fig.) einerley seyn muß, durch die ihn die Zentralkraft zum Mittelpunkt zurück zieht, damit er statt der Tangente P Q den Kreisbogen P p beschreibe, oder seine Entfernung vom Mittelpunkt nicht ändre. Wenn man also

A den Halbmesser des Kreises, in dem sich der Körper umschwingt, und E die Zeit nennt, in der er diesen Kreis einmal durchläuft, so ist die doppelte Schwungkraft dem Halbmesser dividirt durch das Qvadrat der Umlaufszeit $\left(\frac{A}{E^2}\right)$ proportional (§. 95.). Nennt man die Geschwindigkeit der Rotation, oder den kleinen Winkel durch den sich der Körper in einer Sekunde dreht, c, so ist die Umlaufszeit E desto kürzer oder länger, je schneller oder langsamer sich der Körper bewegt, d. h. E verhält sich umgekehrt wie c, oder die Division durch E gibt eben das Verhältniß als die Multiplikation durch c: folglich ist die Schwungkraft, oder vielmehr der Raum P= durch den sie den Körper in 1 Sekunde treibt, $\frac{1}{2}$ A c c oder dem halben Produkt des Halbmessers in das Qvadrat der Rotations-Geschwindigkeit gleich.

Man kann sich hievon leicht überzeugen, wenn man einen Körper an einem Faden, einen Stein in einer Schleuder, im Kreise umlaufen läßt: die Hand fühlt einen desto stärkeren Druck womit der Stein davon zu fliegen strebt, nicht allein je schneller man ihn umschwingen läßt, sondern auch je mehr man den Faden bey gleicher Umlaufszeit verlängert; so daß man beydes so weit vermehren kann, daß endlich der stärkste Faden zerreißt (Th. §. 67.).

§. 169. Wenn man dies auf die Rotation der Erde anwendet, so ist der Halbmesser des Kreises den ein Punkt im Aeqvator beschreibt, mit dem Halbmesser der Erdkugel einerley, also $\frac{1}{2}$ A = 1634755,5 Toisen (Th. §. 53.) oder 9808533 Pariser Fuß; und der Winkel durch den sich die Erde mit ihrer täglichen Bewegung in 1 Sek. dreht, c = 15″, welches in Theilen des Halbmessers ausgedrückt, den Bruch c = 0,000072722 gibt. Multiplizirt man hiemit $\frac{1}{2}$ A zweymal, so erhält man $\frac{1}{2}$ A c c = 0,0518723 Fuß. Da sich nun die Kräfte verhalten, wie die Räume durch die sie die Körper in gleichen Zeiten treiben, und die Körper auf der Erde ver-

unter verschiedenen Breiten.

mögе der Schwere in 1 Sek. durch 15,113 Par. Fuß herab fallen (§. 125.), so verhält sich die Schwungkraft unter dem Aeqvator zur Schwere wie 0,05187 zu 15,113 oder wie 1 zu 291, d. h. sie ist dem 291sten, oder genauer dem 288sten Theil der Schwere gleich.

43. Fig. Wenn (43. Fig.) PAQ die Hälfte eines Erd-Meridians, PQ die Axe, A einen Punkt im Aeqvator, und B irgend einen andern Punkt der Erde bedeutet, so ist CA = A der Halbmesser der Erdkugel und des Kreises den ein Punkt im Aeqvator durch die tägliche Umdrehung der Erde beschreibt, und die Linie Aa von $7\frac{1}{2}$ Linien, durch die dieser Punkt vermöge der Schwungkraft vom Mittelpunkt seines Kreises C weg getrieben wird, ist der Richtung der Schwere nach dem Mittelpunkt der Erde AC gerade entgegen gesetzt: folglich wird die Schwere unter dem Aeqvator durch die Rotation der Erde um ihren 288sten Theil vermindert. — Ein andrer Punkt B aber beschreibt täglich einen Kreis, dessen Halbmesser nicht AC sondern BD ist, und die Schwungkraft treibt ihn nach der Richtung des Halbmessers Bb, die dem Erdhalbmesser oder der Richtung der Schwere BC nicht gerade entgegen gesetzt ist. Beyde Punkte A, B, machen in derselben Zeit von 24 Stunden einen Umlauf, haben also dieselbe Rotations-Geschwindigkeit c, und die Linie Bb ist $\frac{1}{2}$ BD. cc, die sich zu Aa verhält wie BD zu AC. Zerlegt man nun Bb in zwey Richtungen Bβ und βb, wovon die erstre in der Verlängerung des Halbmessers CB liegt, die andre aber darauf senkrecht ist, so kann diese letztre die Schwere weder vermehren noch vermindern, die erstre aber vermindert die Schwere BC, weil sie die gerade entgegen gesetzte Richtung hat. Da nun die beyden Dreyecke Bβb und BDC, außer den rechten Winkeln bey β und D, auch die Scheitelwinkel bey B gleich haben, so sind sie sich ähnlich, und es verhält sich Bb zu Bβ wie CB zu BD oder wie AC zu BD. Bβ ist also kleiner als Bb im Verhältniß von BD zu AC, und Bb war schon

in eben diesem Verhältniß kleiner als A a: woraus folgt, daß B β im doppelten Verhältniß kleiner als A a seyn muß, d. h. A a und B β verhalten sich wie die Qvadrate der Halbmesser der Parallele in denen A und B liegen, AC^2, BD^2. Unter der Breite z. B. von 60°, ist $BD = \frac{1}{2} AC$, also $BD^2 = \frac{1}{4} AC^2$: die Schwungkraft in St. Petersburg ist also nur der 4te Theil von der im Aeqvator, oder dem 1152sten Theil der Schwere gleich. Je näher B dem Pol P liegt, desto kleiner wird BD, bis es endlich im Pol ganz verschwindet; und hieraus folgt:

1) Unter den Polen wird die Schwere durch die Umdrehung der Erdkugel gar nicht geändert, sondern die Schwere die die Beobachtungen anzeigen, ist mit der wahren Attraktion der Erde einerley.

2) An allen andern Oertern der Erde aber wird die Schwere der Körper, durch die tägliche Rotation der Erde, vermindert, und zwar desto mehr, je näher sie dem Aeqvator liegen, doch nie mehr als um den 288sten Theil, welches der gröste Werth unter dem Aeqvator selbst ist.

3) Der nämliche Körper ist also desto schwerer, drückt desto stärker, und fällt desto schneller herab, je näher er dem Pol gebracht wird."

4) Derselbe Fall findet bey der Bewegung des Pendels statt, die eine unmittelbare Folge der Schwere ist: der Pendel macht desto schnellere oder langsamere Schwingungen, und der Sekunden-Pendel muß desto mehr verlängert oder verkürzt werden, je näher er dem Pol oder dem Aeqvator gebracht wird.

Wie vollkommen dies alles mit der Erfahrung übereinstimmt, wird man sich aus dem zweyten Theil dieses Werks erinnern (Th. §. 69. 70.).

§. 170. Da die Schwungkraft die Körper desto mehr vom Mittelpunkt entfernt, oder ihre Schwere zum Mittelpunkt desto mehr vermindert, je näher sie dem Aeqvator der Umdrehung sind, so muste beym Anfange dieser Bewegung, Abplattung der Erde.

die Figur der Erde, durch diese Wirkung, von der ursprünglichen sphärischen Form dergestalt abweichen, daß sie sich nach dem Aequator hin allmälig erhob, oder nach den Polen hin einsenkte. So entstand eine unter dem Aequator erhobene, oder an den Polen eingedrückte Kugel; und die Theorie zeigt, daß die Erd-Meridiane unzählige Figuren annehmen konnten, bey denen das Gleichgewicht zwischen der Schwere und der Schwungkraft vollkommen hergestellt ist, und daß die einfachste dieser Figuren die Ellipse ist, die man auch gewöhnlich bey dieser Rechnung zum Grunde legt, obgleich es sich mit den Messungen nicht wohl vereinigen läst (Th. §. 52.). In jedem Fall müssen die Meridiane, so fern nicht Lokal-Umstände oder die innere Beschaffenheit der Erde darin eine Aendrung machen, solche krumme Linien seyn, deren gröster Durchmesser mit dem Aequator, der kleinste mit der Axe zusammen fällt. Der Unterschied dieser beyden Durchmesser, dividirt durch den kleinsten Durchmesser, oder das Verhältniß jenes Unterschiedes zur Axe, nennt man die Abplattung. Sie wird aus dem Verhältniß der Schwungkraft zur Schwere, durch eine sehr einfache Formel gefunden, wiewol die Rechnung, durch die man diese Formel findet, so verwickelt ist, daß sie sich hier nicht erklären läst. Wenn nämlich dieses Verhältniß durch den Bruch e ausgedrückt wird, so ist die Abplattung sehr nahe $\frac{1}{4}$ dieses Bruchs. Auf dem Erdboden z. B. ist $e = \frac{1}{288}$, also die Abplattung $= \frac{5}{4 \cdot 288} = \frac{1}{230}$: d. h. der Durchmesser des Aequators und die Axe verhalten sich wie 230 und 229. Dies ist das Verhältniß, welches Newton durch die bloße Theorie gefunden hatte, und welches beynahe das Mittel zwischen allen bisher angestellten Messungen ist (Th. §. 51. 52.)

und der übrigen Planeten.

§. 171. Es ist nicht schwer, diese Rechnung auf die übrigen Planeten an zu wenden. Die Sonne dreht sich in 25 Tagen und 1 Stunde um eine Axe (§. 46.), folglich ist

ihre Rotations-Geschwindigkeit in 1 Sekunde, $\frac{3}{5}''$ oder $c = 0{,}0000029$. Ihr Halbmesser A ist 93898 Meilen (§. 12.), oder $\frac{1}{2}$ A = 10716800000 Par. Fuß, also $\frac{1}{2}$ A c c = 0,0090132. Dies verhält sich zum Fall der Körper auf der Sonne in 1 Sek. = 422,142 (§. 125.) wie 1 zu 46837. Die Schwere wird also auf der Sonne, selbst unter ihrem Aequator, nur um den 46837sten Theil vermindert, und die Abplattung ist $\frac{5}{4}$ davon, also der 37470ste Theil des Durchmessers, oder der 20ste Theil einer Sekunde, welches ganz unmerklich ist: in der That zeigt sich die Sonne, auch bey den genauesten Messungen, wie eine vollkommene Kugel.

Die Rotations-Geschwindigkeit des Monds ist mit seiner mittlern Bewegung in 1 Sekunde = 0″, 55 einerley (Th. §. 170.), also c = 0,000002666 5; und sein Halbmesser ist 240, 5 Meilen (§. 12.) oder $\frac{1}{2}$ A = 2744563 Par. Fuß. Dies gibt $\frac{1}{2}$ A c c = 0,000019514 welches sich zum Fall der Körper auf dem Monde = 5,2745 (§. 125.) wie 1 zu 270287 verhält. Die Abplattung des Monds ist also $\frac{5}{4}$ hievon oder $\frac{1}{216230}$, welches ganz unmerklich ist.

Die Rotations-Periode aller Planeten, mit Ausnahme der fünf neuen, ist bekannt (§. 49.). Die Periode Saturns ist von 10 St. 16 M. also seine Geschwindigkeit 35″, welches c = 0,00016968 gibt; sein Halbmesser A ist = 8384,5 Meilen (§. 12.), oder $\frac{1}{2}$ A = 95694267 Par. Fuß, mithin $\frac{1}{2}$ A c c = 2, 7553; welches sich zum Fall der Körper auf dem ♄ = 15, 146 (§. 125.) verhält wie 1 zu 5, 5. Auf dem ♄ wird also die Schwere durch die Rotation um den 6ten bis 5ten Theil vermindert, und seine Abplattung ist $\frac{1}{4,4}$, d. h. die Axe verhält sich zum Durchmesser des Aequators wie 22 zu 27, welches freylich weit beträchtlicher ist, als die Beobachtungen gezeigt haben (§. 57.). Dieser Unterschied hängt wahrscheinlich mit der sonderbaren Figur Saturns zu-

sammen, die am Aeqvator zum zweyten mal eingedrückt ist, gleichsam als hätte sich hier die Masse des Ringes los gerissen (§. 57.), wodurch dann natürlich die Abplattung kleiner werden muß.

Jupiter dreht sich in 9 St. 56 M. um eine Axe (§. 49.), also mit einer Geschwindigkeit von 36″,2 in 1 Sek. oder $c = 0{,}0001755$; und sein Halbmesser ist 9458,5 Meilen (§. 12.) oder $\frac{1}{2}A = 107952073$ Par. Fuß, folglich $\frac{1}{2}Acc = 3{,}325$; welches sich zum Fall der Körper $= 38{,}779$ (§. 125.) verhält wie 1 zu 11,66; und dies mit $\frac{5}{4}$ multiplizirt, gibt $\frac{1}{9{,}33}$. Die Schwere wird also unter dem Aeqvator Jupiters, durch seine Rotation, um ihren 12 bis 11ten Theil vermindert, und seine Abplattung ist der 10te bis 9te Theil der Axe, so daß sich die Axe zum Durchmesser des Aeqvators verhält wie 9,33 zu 10,33: welches genau genug mit den Beobachtungen übereinstimmt (§. 58.).

Die Rotations-Periode des **Mars** von 24 St. 39 M. 22 S. (§. 49.) gibt die Geschwindigkeit von 14″,8 oder $c = 0{,}0000071752$; und sein Halbmesser ist $= 481{,}5$ Meilen (§. 12.), oder $\frac{1}{2}A = 5495472$ Par. Fuß. Dies gibt $\frac{1}{2}Acc = 0{,}0283$ welches sich zum Fall der Körper auf dem ♂ $= 6{,}331$ (§. 125.) verhält wie 1 zu 223,77. Die Schwungkraft unter dem Aeqvator des ♂ ist also der 224ste Theil der Schwere, und die Abplattung ist $\frac{1}{179}$, so daß seine Axe sich zum Durchmesser des Aeqvators verhält wie 179 zu 180, welches freylich sehr von den Beobachtungen abweicht (§. 60.).

Aus der Rotations-Periode der **Venus** von 23 St. 21 M. (§. 49.) folgt ihre Geschwindigkeit von 15″,4 oder $c = 0{,}00007466$. Da nun ihr Halbmesser $= 816{,}5$ Meilen (§. 12.) oder $\frac{1}{2}A = 9318904$ Par. Fuß ist, so wird $\frac{1}{2}Acc = 0{,}051945$; welches sich zum Fall der Schwere auf der ♀ $= 15{,}872$ (§. 125.) verhält wie 1 zu 305,56; und

dies mit $\frac{5}{4}$ multiplizirt, gibt $\frac{1}{244,4}$. Die Schwere wird also auf der ♀, durch ihre Rotation, unter dem Aeqvator nur um den 305ten Theil vermindert; und ihre Axe verhält sich zum Durchmesser des Aeqvators wie 244 zu 245, welches der Abplattung der Erde fast gleich, und für die Beobachtungen unmerklich ist.

Die Masse Merkurs, und die davon abhängende Schwere auf diesem Planeten, ist zu wenig bekannt (§. 125. 126.), als daß sich diese Rechnung auf ihn anwenden ließe.

Zweytes Kapitel.

Freye Rotation der Weltkörper.

§. 172. Die Umwälzung der Weltkörper, die beym ersten Anblick so einfach scheint, hat bey genauerer Untersuchung zu einem Problem Anlaß gegeben, welches eins der schwersten in der ganzen physischen Astronomie ist, das die grösten Geometer des letzten Jahrhunderts beschäftigt, und wichtige Entdeckungen veranlaßt hat. Die tägliche Bewegung womit die Erde, und so viel wir wissen, auch die übrigen Planeten sich um eine Axe drehn, ist vielleicht die einzige Bewegung in der Natur, die vollkommen gleichförmig ist, deren Geschwindigkeit sich nie ändert, die einzige, bey welcher der Astronom keinen Unterschied zwischen der wahren und mittlern Bewegung machen darf. Die 24 Stunden in denen die Sphäre sich einmal umwälzt, sind der große Regulator, nach dem die Bewohner unsers Planeten alle Uhren des Himmels und der Erde, die Bewegung der Weltkörper und des Lichts, wie des Windes oder der Kanonen-Kugel, die Kulmination der Sterne, der Sonne und der Planeten, die Perioden der Sekular- Einleitung.

Gleichungen, deren Stunden Jahrhunderte sind, wie die Schläge des Pendels, die Schwingungen des Chronometers, oder das Tröpfeln der Wasseruhr, berichtigen müssen: sie sind das einzige Normal-Maaß, auf welches alle übrigen zurück geführt werden müssen; und wenn wir, um die Arbeit zu verkürzen, einen größern Maasstab ergreifen, wenn wir Jahre oder Jahrtausende gebrauchen, um die Ewigkeit oder auch nur die Periode des Zurückweichens der Aequinoktialpunkte zu messen, so müssen wir uns immer dabey erinnern, wie oft die Erde sich in dieser Zeit umgedreht hat. Seit Jahrtausenden ist ein Tag dem andern, eine Stunde der andern gleich, wenn vielleicht in der Ewigkeit nicht zwey Jahre vorkommen, die einander vollkommen gleich sind. Es scheint daher, daß dieser Gegenstand erschöpft ist, so bald man die Periode der Rotation und die Lage der Axe kennt; und so würde es auch wirklich seyn, wenn die letztre so unveränderlich wie die erstre wäre. Allein man darf sich nur an das Verrücken der Nachtgleichen und an die Nutation der Erd-Axe erinnern, um sich vom Gegentheil zu überzeugen; und man darf nur bedenken, daß es bey der Untersuchung der Rotation nicht mehr erlaubt ist, die Weltkörper, so wie wir bisher gethan haben, als geometrische Punkte an zu sehn, um zu begreifen, daß sich hier neue Schwierigkeiten erheben werden. Bey einem geometrischen Punkt läst sich gar keine umdrehende Bewegung denken, er hat nicht verschiedne Seiten die er dem Auge nach und nach zuwenden kann; nur die Betrachtung der verschiedenen Theile des Körpers und seiner Figur, führt uns auf den Begrif der Rotation. Einige allgemeine Bemerkungen über den Unterschied der fortschreitenden und der umdrehenden Bewegung, werden dies am besten ins Licht setzen.

Unterschied der progressiven und rotirenden Bewegung.

§. 173. Bey der progressiven Bewegung ist bloß von dem ganzen Körper, nicht von seinen einzelnen Theilen die Rede; man kann daher, wie wir es bey der elliptischen Bewegung der Planeten gethan haben, den Körper selbst wie ei-

nen Punkt ansehn, oder die Bewegung seines Schwerpunkts statt der des ganzen Körpers betrachten: und dies setzt voraus, daß alle Theile sich genau auf gleiche Art bewegen, so daß man die Bewegung des ganzen Körpers kennt, wenn die Bewegung eines Punkts z. B. des Schwerpunkts bekannt ist. Die Rotation aber kann statt finden, wenn gleich der ganze Körper, als Punkt betrachtet, oder wenn sein Schwerpunkt in Ruhe ist: sie ist die relative Bewegung der verschiedenen Theile des Körpers gegen einen Theil desselben, der in Ruhe angenommen wird (die Axe); sie läst sich also ohne die Betrachtung dieser verschiedenen Theile gar nicht denken, und besteht wesentlich in der Ungleichheit ihrer Bewegungen, oder in dem was jedem Theile eigenthümlich bleibt, wenn man von der allen gemeinschaftlichen progressiven Bewegung abstrahirt. Diese letztre Bemerkung zeigt, daß, da fast alle Bewegungen in der Natur progressiv und rotirend zugleich sind, man sich nur dann einen deutlichen Begrif von beyden machen kann, wenn man jede von der andern trennt.

Eine Bewegung, bey der alle Theile des bewegten Körpers dieselbe Bewegung haben, also mit gleicher Geschwindigkeit nach parallelen Richtungen fort gehn, ist bloß progressiv: denn alle gerade Linien die man durch jede zwey Punkte des Körpers ziehn kann, rücken zwar mit dem Körper fort, aber ohne ihre Richtung zu ändern, ohne sich zu drehn, es findet also gar keine Rotation statt; in diesem Fall ist es hinlänglich, einen einzigen Punkt zu betrachten, und die Bewegung des Schwerpunkts ist mit der Bewegung des ganzen Körpers an Richtung und Geschwindigkeit einerley. Wenn aber die einzelnen Theile des Körpers verschiedne Bewegungen haben, so ändert sich ihre relative Lage gegen einander, und es ist möglich, daß der Schwerpunkt, also der Körper als ein Ganzes betrachtet, dabey in völliger Ruhe bleibt; wenigstens hat seine Bewegung keinen nothwendigen Zusammenhang mit der umdrehenden, die bloß in der relativen Bewegung der

einzelnen Theile gegen einander besteht, sich also wie jede relative Bewegung (§. 114.), nur dann deutlich übersehen läst, wenn man einen Theil des Körpers in Ruhe annimt, folglich von der progressiven Bewegung, wenn eine solche statt findet, abstrahirt. Das Kennzeichen der bloßen Rotation ist also das, daß irgend ein Theil des Körpers in völliger Ruhe ist, und sie besteht in der relativen Bewegung der übrigen Theile um diesen ruhenden Theil. Eine geringe Anstrengung der Einbildungskraft wird uns überzeugen, daß, wie die umdrehende Bewegung auch immer beschaffen, wie unregelmäßig sie auch immer seyn mag, in jedem Augenblick nicht bloß ein Punkt, sondern irgend eine gerade Linie, ein Durchmesser oder eine Sehne des Körpers in Ruhe seyn muß, um die sich der Körper in diesem Augenblick dreht, wenn gleich im nächsten eine andre Linie die Stelle der vorigen einnimt; daß aber unmöglich zwey oder mehr Linien zugleich ruhen können, ohne daß die Rotation aufhört, oder daß der Körper zerrissen wird. Diese gerade Linie, die sich wirklich in Ruhe befindet, oder die durch Vernichtung der progressiven Bewegung in Ruhe versetzt wird, heist die Axe der Umdrehung. Wenn also, wie es gewöhnlich der Fall ist, die Bewegung des Körpers aus fortschreitender und umdrehender zusammen gesetzt ist, d. h. wenn kein Theil des Körpers in Ruhe ist, aber auch nicht die Bewegungen aller Theile gleich und parallel sind, so muß man, um die progressive Bewegung kennen zu lernen, von der Rotation abstrahiren, und umgekehrt: man muß im erstern Falle bloß die Bewegung des Schwerpunkts oder der Axe, im letztern bloß die eigenthümliche Bewegung der einzelnen Theile betrachten, die über bleibt, wenn man jedem Theile diejenige Bewegung mittheilt, durch welche die Rotations-Axe zur Ruhe gebracht wird. Man vergleiche, was oben von der Rotation des Monds gesagt ist (§. 47.).

Kräfte, die beyde hervor bringen.

§. 174. Wenn man sich eine deutliche Vorstellung von diesen Bewegungen macht, so wird man leicht einsehn, wie

die Kraft oder der Stoß beschaffen seyn müsse, der eine bloß progressive Bewegung, oder zugleich eine Rotation hervor bringen soll. Wenn alle Theile eines Körpers nach derselben Richtung gleich stark beschleunigt werden, so können sie sich nicht anders als nach dieser Richtung mit gleichen Geschwindigkeiten bewegen, die Bewegung aller Theile ist dieselbe, und es findet keine Rotation statt. Es scheint also, daß, um eine bloß progressive Bewegung hervor zu bringen, jedes Element des Körpers einen Stoß erhalten müsse, der der Masse desselben proportional ist, so daß unzählige gleiche Stöße nöthig wären. Allein man wird leicht begreifen, daß ein einziger Stoß, gehörig angebracht, dieselbe Wirkung hervor bringen kann, wenn er sich so über den ganzen Körper verbreitet, als wenn jedes Element unmittelbar auf gleiche Art beschleunigt wäre. Da sich nämlich jede noch so große Anzahl von Kräften auf eine mittlere Kraft bringen läst (§. 80.), die dann, wenn alle Kräfte, wie es hier der Fall ist, einander parallel sind, dieselbe Richtung haben muß, so muß es in jedem Körper einen Punkt geben, durch den die mittlere Richtung der Schwere aller seiner Theile geht, oder überhaupt aller parallelen Kräfte die jedes Element gleich stark beschleunigen, d. h. der eine solche Lage hat, daß, wenn alle jene Kräfte oder ihre Summe nach derselben Richtung an ihm allein angebracht werden, der Körper auf eben die Art bewegt wird: und dieser Punkt heist der Schwerpunkt des Körpers (§. 110.). Daß es einen solchen Punkt in jedem Körper gebe, davon kann man sich auch auf folgende sinnliche Art überzeugen. Man stelle sich unter PQ (43. Fig.) einen Durchmesser des Körpers vor, 43. Sig.
auf den die Kraft FE oder DB nach senkrechter Richtung wirkt. Wenn FE sehr nahe an der Oberfläche des Körpers Q liegt, so ist offenbar, daß der Körper sich nach der Richtung QEA drehen werde, nach der entgegen gesetzten Richtung PBAQ aber, wenn die Kraft DB der Gränze P sehr nahe ist; und daß diese Rotation nach der einen oder andern

Richtung desto schneller seyn werde, je näher die Kraft der Oberfläche des Körpers ist, desto langsamer aber, je mehr sie sich davon entfernt: es muß also in der Mitte irgendwo einen Punkt C geben, wo die Rotation so zu sagen unendlich langsam ist, wo sie aus der einen Richtung in die andre übergeht, wo also, wenn die Kraft C A daselbst angebracht wird, gar keine Rotation erfolgt; und dies ist der Schwerpunkt. Wenn also die Richtung des Stoßes durch den Schwerpunkt geht, so ist die Wirkung dieselbe, als wenn alle Elemente nach parallelen Richtungen gleich stark beschleunigt würden: die Bewegung die der Körper dadurch erhält, ist also bloß progressiv.

Geht aber die Richtung des Stoßes F E nicht durch den Schwerpunkt, so erhält der Körper zugleich eine drehende Bewegung um eine Axe. Stellt man sich nämlich vor, daß zugleich der Schwerpunkt selbst einen entgegen gesetzten Stoß C G erhalten habe, so ist offenbar, daß aus beyden Stößen F E, C G, eine Rotation entstehen muß, weil der eine den Körper nach F E, der andre nach der entgegen gesetzten Richtung C G treibt, und doch beyde sich nicht aufheben können, weil sie nicht in einer geraden Linie liegen: da nun der ganze Körper nicht nach beyden Richtungen zugleich gehen kann, so wird ein Theil der einen, ein Theil der andern folgen, die Bewegung der einzelnen Theile wird verschieden seyn, also eine Rotation statt finden (§. 173.). Nun kann aber, wie wir eben gesehn haben, der Stoß durch den Schwerpunkt C G den Körper nicht drehen: folglich entsteht die Rotation allein durch den Stoß F E, der nicht durch den Schwerpunkt geht. — Man begreift leicht, daß hieraus zugleich eine fortschreitende Bewegung des Körpers entstehen wird, und zwar die nämliche, als wenn der Stoß F E am Schwerpunkt selbst angebracht wäre. Wenn nämlich am Schwerpunkt C zwey entgegen gesetzte Kräfte C A, C G, angebracht sind, die F E gleich und parallel sind, so werden diese beyden Kräfte einander aufheben, und das Resultat wird das nämliche seyn, als

wenn der Stoß FE allein wirkte. Die Kraft CG thut dieselbe Wirkung, als wenn der Schwerpunkt fest gehalten würde, da dann offenbar, wie wir eben gesehen haben, eine bloße Rotation, und zwar um den hiedurch zur Ruhe gebrachten Schwerpunkt, erfolgen kann, so daß der Stoß CG mit FE gemeinschaftlich auf die Rotation verwandt wird: es bleibt also nur der Stoß CA, der den Körper, weil er durch C geht, nicht drehen kann, für die progressive Bewegung über, die folglich die nämliche ist, als wenn FE am Schwerpunkt selbst in der Richtung CA angebracht wäre. Die Bewegung der Körper beruht also auf folgenden Sätzen.

1) Jeder Stoß dessen Richtung durch den Schwerpunkt geht, kann den Körper nicht drehen, sondern ihm bloß eine progressive Bewegung nach dieser Richtung geben.

2) Jeder Stoß der nicht durch den Schwerpunkt geht, dreht den Körper um eine Axe durch den Schwerpunkt, die natürlich auf der Richtung des Stoßes senkrecht seyn muß; zugleich aber schiebt er den ganzen Körper fort, und diese progressive Bewegung ist mit derjenigen einerley, die der Körper annehmen würde, wenn der Stoß in derselben Richtung am Schwerpunkt selbst angebracht wäre.

Gleichförmige Rotation.

§. 175. Das Gesetz der **Trägheit**, welches oben eigentlich nur für einzelne Punkte bewiesen ist (§. 83.), läst sich ohne Schwierigkeit nicht allein auf die progressive Bewegung, sondern auch auf die Rotation ganzer Körper anwenden. Jeder Punkt behält die ihm einmal mitgetheilte Bewegung mit unveränderter Richtung und Geschwindigkeit, bis er von äußern Kräften gehindert wird. Stellt man sich nun vor, daß eine Menge sich berührender Punkte, die aber gar nicht zusammen hängen, nach parallelen Richtungen mit gleicher Geschwindigkeit fort laufen, so werden sie diese Bewegung, so lange sie nicht auf äußre Hindernisse stoßen, immer fortsetzen, weil kein Punkt den andern hindert, keiner seitwärts auf den nächsten stößt, oder den vordern einholt. Sie behalten beständig die-

selbe Lage gegen einander, und bewegen sich, als wenn sie Theile eines Körpers wären. Die Bewegung wird also auch dieselbe bleiben, wenn dies wirklich der Fall ist, und die Kohäsion des Körpers kann darauf nicht den geringsten Einfluß haben. Feste Körper die eine bloß progressive Bewegung erhalten haben, werden dieselbe also nach dem Gesetz der Trägheit fortsetzen.

Wenn aber der Körper sich gleichförmig um eine Axe dreht, so werden alle Punkte desselben mit gleicher Geschwindigkeit Kreise beschreiben, die einander parallel sind, und ihre Lage gegen einander, ihre Entfernung von einander, wird dadurch nicht im geringsten geändert; kein Punkt geht geschwinder als der andre, oder nach andrer Richtung, keiner begegnet dem andern, keiner hindert den andern, und die Bewegung ist eben so frey, als wenn die Punkte gar nicht zusammen hingen: folglich kann auch die Kohäsion des Körpers keine Aendrung darin machen. Ist also die Rotation des Körpers einmal gleichförmig gewesen, so muß sie nach dem Gesetz der Trägheit ewig fortdauern. Allein wie ist es möglich, daß eine solche Bewegung im Kreise, die an sich dem Gesetz der Trägheit zu widersprechen scheint (§. 83.), entstehen oder nur einen Augenblick fortdauern kann? Jeder Punkt der sich im Kreise bewegt, würde der Tangente folgen, wenn er nicht durch eine Zentralkraft, welches hier die Kohäsion des Körpers ist, an den Mittelpunkt gebunden würde; und hieraus entsteht die Schwungkraft, wodurch der Körper sich vom Mittelpunkt zu entfernen strebt (§. 168.), die sich folglich durch einen Druck auf die Axe nach der Richtung des Halbmessers des Kreises äußert. Wenn also die Axe fest gehalten wird, so werden alle diese verschiedenen Pressungen aufgehoben, und der Körper wird sich gleichförmig nach dem Gesetz der Trägheit um diese feste Axe drehn: denn die Schwungkraft jedes Punkts wirkt im verlängerten Halbmesser, ist also auf dem Kreise so wol, den dieser Punkt selbst, als den der zunächst

liegende Punkt beſchreibt, ſenkrecht, ſie kann alſo dieſe Bewegung weder vermehren noch vermindern. Wenn aber auch die Axe nicht gehalten wird, ſondern der Körper ſich ſelbſt überlaſſen iſt, ſo ſind doch viele Fälle möglich, da die Axe ſich ſo zu ſagen ſelbſt hält; und ein ſolcher Fall findet in der Kugel bey jeder Rotation immer ſtatt, wie wir gleich ſehen werden. So ſetzt der Kreiſel ſeine Rotation um eine Axe, die nicht gehalten wird, fort, bis die Friktion ſeiner Bewegung ein Ende macht.

§. 176. In jedem Punkt der Axe kann man ſich eine Ebne denken, die auf der Axe ſenkrecht iſt, und aus unzähligen geraden Linien beſteht, die ſich in der Axe ſchneiden. Jeder Punkt in einer ſolchen Linie erhält durch die Umdrehung eine Schwungkraft, die deſto größer iſt, je weiter er von der Axe entfernt iſt (§. 168.), und immer in der Richtung dieſer Linie liegt, ſo daß die Schwungkräfte der einen Hälfte derſelben denen auf der andern Seite der Axe gerade entgegen geſetzt ſind. Wenn alſo beyde Hälften der Linie gleiche Längen und gleiche Maſſen haben, ſo ſind auf beyden Seiten gleiche entgegen geſetzte Schwungkräfte, die ſich folglich aufheben, ſo daß die Axe weder nach der einen noch nach der andern Seite gedrückt wird, alſo gar keinen Druck leidet. Wenn die Ebne ein Kreis iſt, auf deſſen Mittelpunkt die Axe ſenkrecht ſteht, ſo iſt dies der Fall mit allen Durchmeſſern dieſer Ebne, ſo wie der nämliche Fall bey allen Ebnen ſtatt findet, welche Kreiſe ſind, durch deren Mittelpunkte die Axe geht, z. B. wenn der Körper eine Kugel von gleichförmiger Dichtigkeit iſt. Man ſieht hieraus, daß, wenn eine ſolche Kugel ſich um einen ihrer Durchmeſſer dreht, alle daraus entſtehenden Schwungkräfte in Beziehung auf dieſe Axe ſich gegenſeitig aufheben, ſo daß die Axe gar keinen Druck leidet; man ſieht aber zugleich, daß auch in anders geſtalteten Körpern die Axe eine ſolche Lage haben kann, daß ſie durch die Umdrehung weder nach der einen noch der andern Seite ge-

Freye Axen.

drückt wird, weil alle Pressungen der Schwungkräfte sich gegenseitig aufheben. Eine solche Axe wird, ohne gehalten zu werden, ruhig bleiben, es sey dann, daß sie zugleich, nebst dem ganzen Körper, eine progressive Bewegung erhalten hat; da diese aber mit der Rotation nichts gemein hat, so wird der Körper sich, nach dem Gesetz der Trägheit, mit unveränderter Geschwindigkeit um jene Axe drehn, die man in der Mechanik eine freye Axe nennt: denn in der Natur der Rotation ist nichts was der Bewegung selbst hinderlich werden könnte (§. 175.), und die Schwungkräfte, aus denen allein ein Hinderniß entstehen könnte, vernichten sich selbst gegenseitig. Die Untersuchungen über diesen Gegenstand haben das merkwürdige Resultat gegeben, daß jeder Körper, er mag so unregelmäßig gestaltet seyn wie man will, wenigstens drey freye Axen hat, die sich im Schwerpunkt senkrecht schneiden; und man wird durch die hier entwickelten Gründe, leicht folgende Anwendungen davon machen.

1) Jede Kugel, in der die Masse gleichförmig vertheilt ist, hat unzählige freye Axen, und dreht sich frey um jeden ihrer Durchmesser nach dem Gesetz der Trägheit.

2) In einer an den Polen eingedrückten Kugel oder Sphäroide, deren Parallele Kreise, die Meridiane Ellipsen sind, sind außer jener Axe, auch alle Durchmesser des Aequators freye Axen: denn der Aequator theilt den Körper in zwey gleiche und ähnliche Hälften, folglich heben sich in jeder Linie und Ebne, die auf einem solchen Durchmesser senkrecht steht, die Schwungkräfte an beyden Seiten auf, und die Rotation dauert ungestört fort.

3) Wenn der Körper nicht allein an den Polen eingedrückt, sondern der Aequator selbst eine Ellipse ist, so hat diese Ellipsoide aus dem nämlichen Grunde drey freye Axen, wovon die eine mit der Linie zwischen den Polen oder der Umdrehungs-Axe, die andern mit den beyden Haupt-Durchmessern des elliptischen Aequators zusammen fallen.

§. 177. Alle Planeten waren wahrſcheinlich im erſten Augenblick ihrer Bildung, Kugeln von gleichförmiger Dichtigkeit (§. 166. 167.): jeder ihrer Durchmeſſer war alſo eine freye Axe, und ſie muſten, ſo bald irgend ein Stoß oder eine Kraft auf ſie wirkte, die nicht durch den Schwerpunkt ging, eine Rotation um einen ihrer Durchmeſſer annehmen und ewig beybehalten. Freylich ward nun durch die Rotation ſelbſt ihre Geſtalt geändert, ſie hörten auf, Kugeln zu ſeyn, und wurden an den Polen eingedrückte Sphäroiden (§. 170.); aber auch in dieſem Zuſtande (§. 176. n. 2.) iſt die Umdrehungs-Axe eine freye Axe, ihre Rotation um dieſe Axe dauert nach dem Geſetz der Trägheit unverändert fort, und kann nur durch äußre Kräfte geſtört werden. Man wird ſich erinnern, daß bey dieſen Schlüſſen nicht allein die ſphäriſche Geſtalt der Weltkörper, ſondern auch eine gleichförmige Vertheilung der Maſſe in ihrem Innern voraus geſetzt iſt: da nun die genaueſten Beobachtungen beweiſen, daß die Erde ſich um eine unveränderliche Axe mit immer gleicher Geſchwindigkeit dreht, ſo muß dies eine freye Axe ſeyn, und man kann daraus ſchließen, nicht allein daß die Figur der Erde von einer an den Polen eingedrückten Kugel nicht merklich abweicht, ſondern auch daß die Maſſe in ihrem Innern ziemlich gleichförmig vertheilt ſeyn muß. Freye Rotation der Weltkörper.

Die bisherigen Unterſuchungen zeigen den phyſiſchen Grund, warum es möglich iſt, daß die Erde und alle Weltkörper, die ihnen einmal mitgetheilte Rotation mit unveränderlicher Geſchwindigkeit ewig fortſetzen können, ohne daß dazu eine beſondre Kraft erfodert wird; ſo wie ſie ihre Bahnen um den Zentralkörper ewig fortſetzen, ohne daß dazu außer der Zentralkraft eine beſondre Wurfskraft nöthig iſt. Es ward dazu weiter nichts erfodert, als entweder daß die Weltkörper urſprünglich Kugeln von gleichförmiger oder gleichförmig abnehmender Dichtigkeit waren, oder daß ſie einen Stoß erhielten, der in einer Ebne lag, die im Schwerpunkt auf einer ihrer

freyen Axen senkrecht war, wie unregelmäßig auch übrigens ihre Gestalt und Masse seyn mochte. Die Richtung und Stärke dieses Stoßes bestimmte die Schnelligkeit und die Axe ihrer Rotation: wenn also diese durch die Beobachtungen bekannt sind, so läst sich daraus umgekehrt die Beschaffenheit des Stoßes bestimmen, der ihnen ihre Bewegung mittheilte.

Stoß der den Weltkörpern ihre Bewegung gab.

§. 178. Wir haben gesehn (§. 174.), daß, wenn der Stoß durch den Schwerpunkt geht, keine Rotation daraus entstehn kann, daß aber in jedem andern Falle eine progressive und umdrehende Bewegung zugleich die Folge davon ist. Man wird also dem einfachen Gange der Natur, die immer durch wenige Mittel viele Zwecke erreicht, am nächsten kommen, wenn man annimt, daß ein und derselbe Stoß den Planeten zugleich ihre progressive oder jährliche Bewegung um die Sonne, und ihre tägliche Rotation mitgetheilt habe. In Rücksicht der erstern ist es ganz gleichgültig, welche Richtung oder welche Entfernung vom Schwerpunkt der Stoß hat, welchen Theil des Körpers er unmittelbar angreift; seine Stärke allein bestimmt die progressive Bewegung: zur Rotation aber ist es durchaus nothwendig, daß die Richtung des Stoßes den Schwerpunkt nicht treffe, sondern in einer gewissen Entfernung von ihm vorbey gehe; von dieser größern oder geringern Entfernung wird also die Schnelligkeit der Rotation abhängen, so wie ihre Axe von der Richtung des Stoßes (§. 177.). Diese Entfernung ist nämlich der Arm eines Hebels, der um seinen Ruhepunkt gedreht werden soll: je länger der Arm ist, je weiter vom Ruhepunkt oder von der Axe die Kraft angebracht wird, desto schneller wird der Hebel gedreht. Das Maaß der Wirkung, oder das **Moment** womit der Körper umgedreht wird, ist also das Produkt der Kraft oder der Stärke des Stoßes, multiplizirt in seine senkrechte oder nächste Entfernung vom Schwerpunkt oder von der Axe, die wir h nennen wollen, so daß das Moment des Stoßes $V = V.h$ ist.

Nun ſtelle man ſich vor, daß ſtatt dieſes Stoßes jedes Element m des Körpers, durch einen beſondern Stoß v beſchleunigt werde, der ihm dieſelbe Rotation wie der Stoß V dem ganzen Körper mittheilt, und man nenne r die Entfernung dieſes Elements von der Axe: ſo findet man die beſchleunigende Kraft des Stoßes v, wenn man ihn durch die Maſſe des Elements m dividirt (§. 84.), ſie iſt alſo $= \frac{v}{m}$. Vermöge dieſer Kraft beſchreibt das Element in der kleinen Zeit τ, die Linie $\sigma' - \sigma = \frac{v}{m}\tau^2$ (§. 93. n. 3.), alſo in 1 Sekunde wo $\tau = 1$ iſt, die Linie $s = \frac{v}{m}$. Dieſe Linie iſt nichts anders als der kleine Kreisbogen, den das Element in 1 Sekunde um die Axe beſchreibt, und dieſer Bogen iſt dem Produkt gleich, welches man erhält, wenn man den Winkel den das Element beſchreibt, in den Halbmeſſer d. i. in die Entfernung r des Elements von der Axe multiplizirt. Nennt man alſo den Winkel, durch den ſich der Körper in 1 Sekunde um ſeine Axe dreht, γ, ſo iſt s oder $\gamma r = \frac{v}{m}$, alſo $v = m\gamma r$. Das Moment der Kraft v, um das Element um die Axe zu drehn, erhält man wie beym Hebel, wenn man v in die Entfernung von der Axe r multiplizirt: mithin iſt das Moment, womit jedes Element gedreht wird, vr oder $m\gamma r^2$. Um nun die Summe aller Momente, womit alle Elemente m oder der ganze Körper gedreht wird, zu finden, muß man offenbar ſtatt m die Maſſe M des ganzen Körpers ſetzen; aber es iſt nicht ſo klar, was man für die Entfernung r ſubſtituiren ſoll, die bey jedem Element einen andern Werth hat. Dieſe Entfernung kann vom Mittelpunkt bis an die Oberfläche des Körpers, d. h. von o bis zum Halbmeſſer der Kugel, den wir α nennen wollen, zunehmen: der mittlere Werth wird alſo zwiſchen o und α fallen, r^2 muß kleiner als α^2, und nicht ſehr von $\frac{1}{5}\alpha^2$ verſchieden ſeyn. Die genaue Rechnung zeigt, daß

man in der Kugel etwas weniger, nämlich $\frac{2}{5}\alpha^2$ statt r^2 setzen muß, da dann die Summe aller Momente $m\gamma r^2$, womit der Körper um seine Axe gedreht wird, $\frac{2}{5}M\gamma\alpha^2$ wird. Da nun diese Summe dem Körper dieselbe Rotation mittheilen soll, wie das Moment des wirklichen Stoßes V, welches V. h war, so müssen beyde gleich seyn, und es wird $\frac{2}{5}M\gamma\alpha^2 = Vh$, oder

$$\frac{V}{M} = \frac{2}{5} \cdot \frac{\alpha^2\gamma}{h}.$$

Setzt man nun den Halbmesser der Planetenbahn $= a$, den Winkel den der Planet in 1 Sekunde um die Sonne beschreibt $= c$, so ist a c die Linie, die er in 1 Sekunde vermöge des Stoßes V durchläuft; und um die Beschleunigung zu erhalten, muß man V durch die Masse M des ganzen Planeten dividiren, da dann (§. 93. n. 3.) $ac = \frac{V}{M}$ wird. Vergleicht man diesen Werth von $\frac{V}{M}$ mit dem aus der Rotation gefundenen, so wird

$$ac = \frac{2}{5} \cdot \frac{\alpha^2\gamma}{h}, \text{ oder } c:\gamma = \frac{2}{5} \cdot \frac{\alpha^2}{h} : a = \frac{2}{5}\alpha^2 : ah.$$

Wenn aber T, τ, die Zeiten sind, in denen der Planet einen Umlauf um die Sonne, und eine Rotation um seine Axe vollbringt, so werden die Winkel, die mit diesen beyden Bewegungen in 1 Sekunde beschrieben werden, desto größer seyn, je kürzer die ganzen Umlaufszeiten sind, und umgekehrt, d. h. T, τ, werden sich verkehrt wie c, γ, verhalten: man hat also $T:\tau = ah:\frac{2}{5}\alpha^2$, oder wenn man die äußern und innern Glieder multiplizirt, $\frac{2}{5}\alpha^2 T = ah\tau$, woraus

$$\frac{b}{\alpha} = \frac{2}{5} \cdot \frac{\alpha}{a} \cdot \frac{T}{\tau}$$

folgt, welches die Entfernung h des Stoßes V, den der Planet im Anfange seiner Bewegung erhalten hat, vom Mittelpunkt, in Theilen seines Halbmessers α gibt.

Dessen Richtung bey jedem Planeten.

§. 179. Die mittlern Entfernungen von der Sonne, oder die Werthe von a findet man in der zweyten Kolumne

der Tafel (§. 5.), und die Durchmesser der Planeten, oder die Werthe von 2α, in der ersten Kolumne der Tafel (§. 12.), für den Mond (§. 15. 12.), beyde in Meilen: dividirt man also die Hälfte der letztren durch erstre, so erhält man $\frac{\alpha}{a}$ für jeden Planeten. Dividirt man ferner die siderischen Umlaufszeiten der Planeten (Th. §. 122. und Sph. §. 98.), durch die Zeiten in denen sie sich um ihre Axe drehn (§. 49.), (beym Monde sind beyde gleich), so erhält man die Werthe von $\frac{T}{\tau}$ für alle Planeten, deren Rotations-Zeit bekannt ist. Beyde Qvotienten, $\frac{\alpha}{a}$ und $\frac{T}{\tau}$, in einander und mit $\frac{2}{5}$ multiplizirt, geben endlich die Werthe von $\frac{b}{\alpha}$, die in folgender Tafel enthalten sind.

	$\frac{\alpha}{a}$	$\frac{T}{\tau}$	$\frac{b}{\alpha}$
♄	0,000043636	25150,84	0,438995 = $\frac{3}{7}$
♃	0,000090250	10468,02	0,377896 = $\frac{3}{8}$
♂	0,000015688	668,72	0,004196 = $\frac{1}{238}$
☿	0,000042664	365,25	0,006233 = $\frac{1}{160}$
♀	0,000056038	230,96	0,005177 = $\frac{1}{193}$
☉	0,000037448	87,63	0,001313 = $\frac{1}{762}$
☾	0,004665918	1,00	0,001866 = $\frac{1}{536}$

Man sieht hieraus, daß der Stoß bey dem ♄ und ♃ nur um etwas geringes weniger als die Hälfte des Halbmessers vom Mittelpunkt entfernt war, bey den übrigen Planeten aber sehr nahe, beym ☿ am nächsten am Mittelpunkt vorüber ging, und daß Venus und die Erde sich auch in dieser Rücksicht sehr ähnlich sind. — Auf die übrigen Planeten und auf die Sonne läst sich diese Rechnung nicht anwenden, bey den erstern, weil ihre Rotation, bey der letztern, weil ihre progressive Bewegung (Th. §. 95.), unbekannt ist.

Mittelpunkt des Schwunges.

§. 180. Wenn man sich vorstellt, daß der ganze Raum zwischen der Sonne und dem Planeten, eine mit dem letztern verbundene feste Linie oder Ebne sey, die also an jeder Bewegung des Planeten Theil nimt, so wird jeder Punkt dieser Ebne, vermöge der progressiven Bewegung des Planeten, mit der Geschwindigkeit a c um die Sonne nach der linken Seite rücken, zugleich aber wegen der Rotation, wenn man seine Entfernung vom Mittelpunkt des Planeten x nennt, mit der Geschwindigkeit $x\gamma$ um den Planeten laufen. Da sich nun alle Planeten nach eben der Richtung drehen, nach welcher sie um die Sonne laufen, so haben bey allen Punkten, die weiter von der Sonne entfernt sind als des Planeten Mittelpunkt, beyde Bewegungen dieselbe, bey allen Punkten aber, die zwischen der Sonne und dem Planeten liegen, entgegen gesetzte Richtungen. Es muß hier also einen Punkt geben, bey dem sich beyde Bewegungen gegenseitig aufheben, weil sie einander gleich sind, d. i. wenn $x\gamma = ac$ ist: und dies gibt $x = \frac{ac}{\gamma}$ und $\frac{x}{\alpha} = \frac{a}{\alpha} \cdot \frac{c}{\gamma}$, oder (§. 178.)

$$\frac{x}{\alpha} = \frac{a}{\alpha} \cdot \frac{\tau}{T} = \frac{2}{5} \cdot \frac{\alpha}{b}.$$

Man darf also nur den Bruch $\frac{2}{3}$ durch die eben gefundenen Werthe von $\frac{b}{a}$ dividiren, um die Entfernung jenes Punkts vom Mittelpunkt des Planeten in Theilen seines Halbmessers zu finden.

Dieser merkwürdige Punkt ist der einzige, der in diesem Augenblick in völliger Ruhe ist, um den sich also die ganze Ebne dreht, der **Mittelpunkt der freyen Rotation**; und er ist einerley mit dem was man in der Mechanik den **Mittelpunkt des Schwunges** nennt, um den nämlich die ganze Ebne gleich einem Pendel freye Schwingungen machen würde.

Die Werthe von $\frac{x}{\alpha}$ sind aus obiger Tafel (§. 179.) folgende:

für den ♄ = 0,911; ♃ = 1,058; ♂ = 95,33; ♁ = 64,17;
♀ = 77,27; ☿ = 304,72; ☾ = 214,32.

Bey dem ♄ und ♃ fällt also der Mittelpunkt des Schwunges fast genau in ihre Oberfläche, bey den übrigen Planeten aber ohne Vergleich weiter. Beym Monde ist diese Entfernung 214,32 Monds-Halbmessern gleich, welches nach dem Verhältniß 1719 zu 481 (§. 12.) 60 Erd-Halbmesser macht, oder genau die mittlere Entfernung des Monds von der Erde (§. 15.): so daß der Mittelpunkt seiner freyen Rotation genau in den Mittelpunkt der Erde fällt; bey der Erde fällt er nur 4 Erd-Halbmesser jenseits des Mondes. Diese merkwürdige Uebereinstimmung wird vielleicht dereinst wichtige Aufschlüsse über das enge Band geben, das diese beyden Weltkörper so fest zusammen kettet.

Ursprung der Bewegung der Erde.

§. 181. So wie wir aus dem Verhältniß, welches zwischen den Geschwindigkeiten der progressiven und rotirenden Bewegung der Planeten statt findet, die Entfernung des ursprünglichen Stoßes vom Mittelpunkt jedes Planeten gefunden haben, so können wir auch durch die Richtung ihrer Rotation die eigentliche Lage dieses Stoßes bestimmen. Wenn man sich nämlich eine gerade Linie durch den Mittelpunkt der Planeten-Kugel denkt, die mit der Richtung des wahren Stoßes parallel ist, so bestimmt jene die progressive, diese die rotirende Bewegung des Planeten, und die Axe der Umdrehung wird der Durchmesser, der auf der Ebne durch diese beyden Linien senkrecht steht. Diese Ebne kann also 1) keine andre als der Aequator seyn, der durch den Mittelpunkt geht und auf der Axe senkrecht ist; die Richtung des Stoßes durch den Schwerpunkt muste 2) in der Ebne liegen, in der sich der Planet wirklich bewegt, also bey der Erde in der Ekliptik; sie muste endlich 3) in der Tangente der Bahn des Planeten liegen, weil sie ihm seine Wurfs-Geschwindigkeit gab, folglich wenigstens sehr nahe auf dem Radius Vektor senkrecht seyn, weil im Kreise, von dem alle Planeten-Bahnen sehr wenig ab-

weichen, die Tangente mit dem Halbmesser immer rechte Winkel macht. Hieraus folgt nun offenbar, daß in dem Augenblick da die Erde ihren ersten Stoß erhielt, die Tangente ihrer Bahn nicht allein in der Ekliptik lag, sondern auch dem Aequator parallel war, daß sie also auf den Axen beyder Kreise, oder auf der Ebne durch beyde Axen und Pole, d. i. auf den Kolur der Sonnenwenden senkrecht war, daß folglich die Erde sich in einer der Sonnenwenden befand. Wenn man die 25. Figur der Sphär. Astr. betrachtet, wo EL die Ekliptik, AR den Aequator vorstellt, so wird man sich leicht überzeugen, daß nur in den Sonnenwenden L oder E diese Lage möglich ist: in jedem andern Punkt I oder S, ist die Tangente der Erdbahn, die nach IS oder SG fällt, nicht mit dem Aequator parallel, sondern macht mit ihm einen Winkel, der desto kleiner ist, je näher die Erde der Sonnenwende ist, und nur in diesen Punkten selbst ganz verschwindet. Die Erde hat also den Stoß, der ihr ihre planetarische Bewegung mittheilte, im Anfange des Sommers (auf der nordlichen oder südlichen Halbkugel) erhalten; und durch folgende Schlüsse läst sich diese wichtige Epoche noch genauer angeben.

Es ist offenbar das natürlichste an zu nehmen, daß die ursprüngliche Bewegung vom Kreise ausging, dem alle Planeten-Bahnen so nahe kommen, und daß die elliptische Figur nur durch die zu große oder zu geringe Stärke des Stoßes entstand (§. 100.), daß also der Stoß auf den Radius Vektor genau senkrecht war. In diesem Fall aber muste der Ort, in dem der Planet sich befand, entweder das Aphelium oder das Perihelium werden: denn nur in den beyden Apsiden der Ellipse ist der Radius Vektor auf dem Bogen oder der Tangente senkrecht (§. 100.).

Die Verbindung dieser beyden Folgerungen gibt endlich das Resultat, daß die Erde ihre Bewegung, ihre planetarische Existenz, in den Apsiden und Sonnenwenden zugleich, also in einem Augenblick angefangen hat, da beyde zusammen

fielen, und daß zugleich auf einer Halbkugel der Erde der Sommer, auf der andern der Winter anfing. Die Länge der Sonnenferne der Erde ist jetzt $279\frac{1}{2}$ Grad (Th. §. 147.), d. h. sie ist $9\frac{1}{2}$ Grad über den Winter-Solstitialpunkt hinaus. Da sie sich nun immer mehr von diesem Punkt entfernt, weil ihre Länge zunimt, und zwar in 100 Jahren um $1^\circ 49' 25''$ (Th. §. 117.), so hat sie 521 Jahre gebraucht, um jene $9\frac{1}{2}^\circ$ zu durchlaufen, und 9870 Jahre, um einen halben Umlauf zu machen. Dem zu folge hätte die Bewegung der Erde vor $520 + 9870 = 10390$, oder vor $10390 + 9870 = 20260$ Jahren ꝛc. angefangen.

Es ist dem Astronomen erlaubt, solchen Spekulationen, wenn er gleich keinen großen Werth darauf legt, einen Augenblick nach zu hängen; und man muß wenigstens gestehn, daß sie auf sicherern Gründen beruhen, als die meisten physischen Systeme über das Alter unsrer Erde: denn es ist weiter nichts dabey voraus gesetzt, als daß die Natur nicht zwey Kräfte, zwey verschiedene Mittel gebraucht hat, um mehrere Zwecke zu erreichen, die sich durch eine einzige Kraft offenbar erreichen ließen.

Drittes Kapitel.

Störung der Rotation.

Verschiedene Ursachen der Störung.

§. 182. Das vorige Kapitel hat gezeigt, in welchen Fällen die Rotation der Weltkörper mit gleichförmiger Geschwindigkeit um eine unveränderliche Axe, nach dem Gesetz der Trägheit ewig fortdauern kann, ohne daß eine besondre Kraft nöthig ist, die die Rotation antreibt, oder die Axe fest hält. Diese freye Rotation kann aber auf doppelte Art ge-

stört werden, entweder dadurch daß die Geschwindigkeit, oder daß die Lage der Axe geändert wird. Eine solche Störung muß ihren Grund entweder in der Art der Bewegung selbst, oder in äußern Kräften haben. Das erstre findet nur dann statt, wenn die Axe um die sich der Körper dreht, keine freye Axe ist: und obgleich dies, nach den genauesten Beobachtungen, bey der Erde der Fall nicht ist (§. 177.), so ist es doch nicht unmöglich, daß andre Planeten die wir nicht so genau beobachten können, sich in einem solchen Zustande befinden; und wir werden sehn, daß es beym Monde wirklich der Fall zu seyn scheint. Bey der Erde, deren Figur von der Art ist, daß ihre Rotations-Axe eine freye Axe ist (§. 176. 177.), können innere Störungen nur in so fern statt finden, als ihre Masse ungleichförmig ist. Da nun das Innere der Erde uns ganz unbekannt ist, so kann hier bloß die Erfahrung entscheiden; und diese lehrt uns, daß der Aequator immer durch dieselben Oerter der Erde geht, und die Länge des Tages sich nicht ändert. Wir müssen hieraus schließen, daß die Erde sich um eine freye Axe dreht, und daß die etwanigen Störungen, die aus der Figur oder der ungleichförmigen Vertheilung der Masse entstehn, so geringe sind, daß sie sich den feinsten Beobachtungen entziehen.

Aeußre Kräfte können die Rotation eines Körpers nur in so fern stören, als sie ihm selbst eine drehende Bewegung mittheilen; und dies können sie nur, wenn der Körper keine gleichförmige Kugel ist: denn wenn er dies ist, müssen seine beyden Seiten von jeder äußern Kraft auf gleiche Art angezogen werden, so daß die mittlere Attraktion durch den Mittelpunkt der Kugel geht (§. 109.), folglich den Körper nicht drehen kann (§. 174. n. 1.); im entgegen gesetzten Fall aber wird die eine Hälfte des Körpers stärker angezogen als die andre, woraus natürlich eine drehende Bewegung entsteht, die die eigentliche Rotation stören muß. Dies ist also eine neue Wirkung der Perturbationen, die bloß von der Figur des ge-

störten Weltkörpers abhängt; und die Natur der Sache bringt es mit sich, daß diese Wirkung in großen Entfernungen verschwindet, wenn gleich die eigentlichen Perturbationen noch sehr merklich sind, weil sie nicht allein von der Entfernung selbst, sondern von dem geringen Unterschiede der Entfernungen der verschiedenen Theile des Körpers abhängt. Wenn also die Entfernung des störenden Weltkörpers so groß ist, daß ihm der gestörte Planet nur wie ein leuchtender Punkt erscheint, so kann seine Attraktion diesen Punkt zwar noch aus seiner Stelle rücken; es ist aber unmöglich, daß die Kraft womit er einen Theil desselben anzieht, merklich von derjenigen verschieden ist, die er auf die übrigen Theile äußert. Es ist also leicht voraus zu sehn, daß der Mond der einzige Weltkörper ist, der der Erde nahe genug ist, um ihr eine drehende Bewegung mit zu theilen, und daß allenfals noch die Sonne, wegen ihrer großen Masse, eine ähnliche Wirkung hervorbringen kann. Wir wollen jetzt untersuchen, was für Störungen die Rotation der Erde, wegen ihrer abgeplatteten Figur, durch die Wirkung des Monds und der Sonne leiden kann.

Wirkungen des ☾ und der ☉ auf die abgeplattete Erde.

§. 183. Die Bestimmung der Präzession und Nutation durch die bloße Theorie der Attraktion, ist vielleicht das schwerste Problem der ganzen Astronomie, welches eine tiefe Kenntniß der höhern Geometrie, Analyse, und Dynamik voraussetzt: man wird also hier keine Entwicklung dieser Rechnung erwarten, und mit einem allgemeinen Umriß zufrieden seyn.

Die Störung der Rotation der Erde durch die Attraktion der Sonne und des Monds entsteht bloß daraus, daß die Erde am Aequator erhaben ist (§. 182.); und man kann sich diese Anhäufung der Masse um den Aequator, wie eine Menge kleiner Planeten vorstellen, die in der Ebne des Aequators täglich einen Umlauf um die Erde machen. Da nun die Bahn der Sonne in der Ekliptik, und die Mond-Bahn in einer wenig davon verschiedenen Ebne liegt, so haben wir hier einen Fall, welcher der oben erklärten Wirkung eines Planeten

auf die Ebne der Bahn eines andern (§. 146. 151.) ähnlich ist. Die Ebne des gestörten Weltkörpers ist hier der Aequator, die des störenden die Ekliptik oder die Mond-Bahn; was dort die Knoten waren, sind hier die Durchschnitspunkte dieser beyden Ebnen, also die Aequinoktialpunkte; und die Neigung oder der Winkel beyder Ebnen kömmt hier mit der Schiefe der Ekliptik überein. Wendet man also jene Schlüsse auf unsern Fall an, so wird man sich leicht überzeugen, daß dasselbe Resultat erfolgen muß, nämlich ein beständiges, wiewol nicht ganz gleichförmiges Zurückweichen der Aequinoktialpunkte, und eine bloß periodische oder schwankende Aendrung der Schiefe der Ekliptik: erstres ist mit der Präzession, letztre mit der Nutation einerley (Th. §. 89. 91.).

44. Fig. Es sey (44. Fig.) PQ die Axe, AB der Aequator, T der Mittelpunkt der Erde, und auf dem Durchmesser PQ sey ein Kreis beschrieben, der die Kugel PDQE vorstellt, die von den erhabenen Theilen des Aequators PADQ, PBEQ, eingeschlossen ist. Bestände nun die Erde bloß aus dieser Kugel, so könnte sie durch keine äußere Kraft gedreht werden, was für eine Lage auch der störende Körper S haben mag (§. 182.): die Störung der Rotation kann also nur aus diesen erhabenen Theilen entstehn, die vom Aequator A, B, in zwey gleiche und ähnliche Hälften getheilt werden. Wenn nun der störende Körper S sich im Aequator selbst in der Linie TAS befindet, so äußert er auf beyde Hälften PAD, QAD, die an beyden Seiten dieser Linie liegen, vollkommen gleiche Wirkungen: seine mittlere Attraktion muß also in dieser Linie selbst liegen, oder durch den Mittelpunkt T gehn; sie kann folglich die Erde nicht drehn (§. 174. n. 1.). Liegt aber der störende Körper S außer dem Aequator in der Linie TFS, so wird der erhabene Theil durch diese Linie in zwey ungleiche und unähnliche Hälften PGF, QGF, getheilt, und die größere QGF fällt nach der Seite des Aequators hin. Zieht man also einen Bogen Faf, der dem elliptischen Bogen FP ähn-

lich iſt und dieſelbe Lage gegen TF hat, ſo wird dadurch ein gleiches und ähnliches Stück FafDG abgeſchnitten, welches von FAQaF umgeben iſt, dem auf der andern Seite nichts das Gleichgewicht hält: die Wirkungen von S auf beyde Hälften FPG und FfG ſind ſich gleich, und die mittlere Attraktion liegt in der Linie SFT, die durch den Mittelpunkt geht, folglich die Erde nicht drehen kann. Es bleibt alſo nur das äußre Stück FAQaF über, und die Störung der Rotation der Erde entſteht aus der Attraktion, die S auf dieſes Stück oder auf deſſen Schwerpunkt g nach gS äußert. Dieſe Attraktion geht nicht durch den Mittelpunkt, dreht folglich den Punkt g nach gA, alſo die ganze Erde nach eben dieſer Richtung, ſo daß ſich die Axe nach der Richtung QA oder PB dreht: und dies iſt die Nutation der Axe, woraus zugleich ein Zurückweichen der Aeqvinoktialpunkte entſteht.

Periode dieſer Störungen.

§. 184. Das Stück FAQaF, durch deſſen Attraktion die Rotation geſtört wird, iſt deſto größer, je weiter der ſtörende Körper S vom Aeqvator entfernt iſt, und verſchwindet ganz, wenn S im Aeqvator liegt, wie wir eben geſehn haben. Die Störung der Rotation wird alſo 1) überhaupt deſto größer, je größer der Winkel iſt, den die Bahn des ſtörenden Körpers mit der Ebne des Aeqvators macht; ſie iſt 2) deſto größer, je mehr ſich der ſtörende Körper in ſeiner Bahn vom Aeqvator, alſo von den Durchſchnittspunkten ſeiner Bahn mit dem Aeqvator entfernt. So würde z. B. die Wirkung der Sonne auf die Rotation der Erde größer oder kleiner ſeyn als ſie wirklich iſt, wenn die Schiefe der Ekliptik größer oder kleiner als 23° 28′ wäre; aber eben dieſe Wirkung wird auch jetzt verſchieden ſeyn, nachdem die Sonne ſich weiter von den Aeqvinoktialpunkten entfernt. Da aber die Wirkung des Monds weit beträchtlicher als die der Sonne iſt, ſo wollen wir uns darauf einſchränken.

Der Winkel den die Mondbahn mit dem Aeqvator macht, hängt von der Lage ſeiner Knoten gegen die Ekliptik ab, wie

45. Fig. die 45. Figur deutlich zeigt, in der ♈ A ♎ Q ♈ den Aequator, ♈ ♋ ♎ ♑ ♈ die Ekliptik vorstellt. Wenn nun der ☊ des Monds mit ♈ zusammen fällt, oder seine Länge = 0 ist, so hat die Mondbahn die Lage ♈ L ♎, und macht mit dem Aequator einen Winkel, der der Summe der beyden Winkel A ♈ ♋ und ♋ ♈ L, nämlich der Schiefe der Ekliptik und der Neigung der Mondbahn gleich ist, also einen Winkel von 28° 28′ + 5° 9′ = 28° 37′ (Th. §. 174.). Wenn aber der ☊ des Monds in ♎ fällt, so daß seine Länge = 180° ist, so hat die Mondbahn die Lage ♎ M ♈, und macht mit dem Aequator den Winkel Q ♈ M, der der Differenz jener beyden Winkel gleich ist, nämlich 23° 28′ — 5° 9′ = 18° 19′, welches einen Unterschied von 10° 18′ macht. In den übrigen Lagen der Monds-Knoten wird dieser Winkel einen mittlern Werth haben, der größer als 18° 19′ und kleiner als 28° 37′ ist.

Die Lage der Monds-Knoten ist also das vornehmste Element, von dem nicht allein die Schwankungen der Axe, sondern auch die schnellere oder langsamere Bewegung der Aequinoktialpunkte abhängt. Unerachtet nämlich diese Punkte beständig zurück weichen, so ist diese Bewegung doch nicht ganz gleichförmig, sondern es entstehn aus den verschiedenen Lagen der Mondbahn kleine Korrektionen (Th. §. 89.), die sich auf 17″ belaufen können, und von den Astronomen unter dem Namen der Gleichung des Aequinoktialpunkts berechnet werden. Diese Gleichungen so wol als die Nutation der Erd-Axe, müssen also dieselbe Periode haben, in der die Monds-Knoten einen ganzen Umlauf am Himmel machen, nämlich die Zeit von 18½ Jahren (Th. §. 174.): und dies stimmt vollkommen mit der von Bradley entdeckten Nutation überein (Th. §. 89. 90.). Außerdem hat die Entfernung des Monds selbst vom Aequator oder von seinen Knoten, hierauf einen Einfluß, der aber kaum merklich ist: diese Korrektion würde die Bewegung des Monds in seiner Bahn, also die Länge des Monats zur Periode haben. Der Einfluß der Sonne,

deſſen Periode die Länge des Jahrs ſeyn würde, iſt noch unbedeutender.

Präzeſſion und Nutation.

§. 185. Vielleicht wird eine noch etwas genauere Betrachtung dieſes Gegenſtands den meiſten Leſern willkommen ſeyn. Wenn (45. Fig.) ♈ A ♎ Q die Ebne des Aeqvators, und ♈ ♋ ♎ ♑ ♈ die Ekliptik vorſtellt, die die Sonne nie verläſt, ſo haben wir geſehn, daß die Sonne gar keine Wirkung auf die Rotation äußert, wenn ſie ſich im Aeqvator, oder in den Punkten ♈, ♎, befindet; und man wird ſich leicht überzeugen, daß ſie auch in den Solſtitialpunkten keine Wirkung auf die Schiefe der Ekliptik äußert. Wenn nämlich die Sonne in ♋ iſt, ſo zieht ſie den Punkt des Aeqvators A, der zugleich durch die tägliche Rotation den Bogen A a beſchreibt, nach A ♋ oder a s, ſo daß durch die Zuſammenſetzung der Kräfte, A den Bogen A s beſchreibt, und der Aeqvator ſeine Lage A a in die Lage A s verändert, welche die Ekliptik in f trifft. Der Herbſt-Punkt weicht alſo von ♎ nach f zurück, und aus der Schiefe der Ekliptik A ♎ C wird A f C: beyde ſind gleich, weil A ♎ ein Qvadrant iſt (§. 154.). In den Aeqvinoktial- und Solſtitial-Punkten ändert die Wirkung der Sonne die Schiefe der Ekliptik alſo gar nicht. — Wenn aber die Sonne in B iſt, ſo folgt auf eben die Art, daß der Aeqvator die Lage H b annimt, welche die Ekliptik zunächſt in g trifft: auch hier weichen die Aeqvinoktialpunkte von ♈ nach g zurück, aber die Schiefe nimt ab, weil im Dreyeck ♈ H g der äußre Winkel H ♈ B größer als der innre H g ♈ iſt. — Wenn die Sonne in C iſt, ſo trifft die geänderte Lage des Aeqvators K c die Ekliptik in m: die Aeqvinoktialpunkte gehen von ♎ nach m zurück, und die Schiefe nimt zu, weil der äußre Winkel K m C größer als der innre K ♎ m iſt. — In D zieht die Sonne den Aeqvator L nach L D oder l d, ſo daß er in ſeiner geänderten Lage d L der Ekliptik in m begegnet: auch hier gehn alſo die Aeqvinoktialpunkte von ♎ nach m zurück, und die Schiefe nimt ab, weil der innre Winkel L m ♎

kleiner als der äußre K ♎ C ist. — In E endlich wird der Punkt des Aequators N, indem er durch die tägliche Rotation nach n geht, nach n e gezogen, und der Aequator N e trifft die Ekliptik nicht mehr in ♈ sondern in p: die Aequinoktialpunkte weichen zurück, und die neue Schiefe N p E ist größer als die vorige N ♈ E.

Alle diese Schlüsse lassen sich, wenn man die Mondbahn statt der Ekliptik substituirt, auch auf den Mond anwenden, und beweisen, daß in jeder Lage die Aequinoktialpunkte beständig zurück weichen, die Schiefe der Ekliptik aber bald ab bald zunimt, folglich nur periodische Schwankungen leidet.

Masse des Monds.

§. 186. Die Nutation der Erd-Axe, oder die periodische Aendrung der Schiefe der Ekliptik in 18½ Jahren, rührt allein von der Wirkung des Monds her, und beträgt in der Hälfte dieser Periode oder in 9¼ Jahren, nach den genauesten Beobachtungen 19″, 3. Das jährliche Zurückweichen der Aequinoktialpunkte von 50″, 1 ist hingegen eine Folge der vereinigten Wirkung der Sonne und des Monds, vermischt sich aber mit der aus der Wirkung der Planeten entstehenden rechtgängigen Bewegung von 0″, 3 (§. 157.), so daß die Wirkung der Sonne und des Mondes allein, aus einem jährlichen Zurückweichen von 50″, 4 besteht, welches in 9¼ Jahren 466″, 2 beträgt. Nun zeigt die Theorie, daß die Wirkungen des Monds auf die Nutation und auf die Präzession sich wie 1 zu 17, 35 verhalten müssen: der Theil der Präzession, der von der Wirkung des Monds herrührt, ist also 17, 35 mal 19″, 3 oder 334″, 855. Subtrahirt man dies von der ganzen Präzession 466″, 2; so bleibt für die Wirkung der Sonne 131″, 345 über. Erinnert man sich nun (§. 141.), daß jede störende Kraft, der Masse des störenden Körpers, dividirt durch die Kubikzahl seiner Entfernung, proportional ist, und nennt die Massen der Sonne und des Monds, S, L, ihre mittleren Entfernungen von der Erde, a, α, so müssen sich die Kräfte

$\frac{S}{a^3}, \frac{L}{\alpha^3}$, wie ihre Wirkungen 131, 345 und 334, 855 verhalten, und das gibt $\frac{L}{\alpha^3} = \frac{334855}{131345} \cdot \frac{S}{a^3}$, oder

$$L = \frac{334855}{181345} \cdot \frac{\alpha^3}{a^3} \cdot S.$$

Da nun $\frac{\alpha}{a} = \frac{51544}{20'143635}$ iſt (§. 5. 7.), ſo wird

$$L = 0{,}000000042713.\ S,$$

oder da S 337086 mal ſo groß iſt als die Erd: Maſſe (§. 125.),

$$L = 0{,}0144 = \frac{1}{69} \text{ von der Erdmaſſe (S. §. 125.).}$$

§. 187. Die Reſultate dieſer Unterſuchungen ſind in mehr als einer Rückſicht höchſt merkwürdig, und wir können unſern Leſern nur einige von den Bemerkungen mittheilen, zu denen ſie ſo reichlichen Stoff darbieten. Folgerungen.

1) Wir haben hier wider ein auffallendes Beyſpiel, wie viel deutlicher, genauer und ſicherer, der Aſtronom oft am Himmel entdeckt, was auf der Erde vorgeht. Die geringe Abweichung unſers kleinen Planeten von der Kugel, iſt die Urſache von dem Wanken der Axe, auf der die Sphäre des Himmels gegründet iſt, und von der allgemeinen Bewegung aller Sterne, wodurch ſie in 26000 Jahren einen Umlauf zu machen ſcheinen. Schon vor 2000 Jahren laſen die griechiſchen Aſtronomen am Himmel die Hieroglyphe, die die an den Polen eingedrückte Figur der Erde einhüllte, aber ſie waren nicht im Stande, ihren geheimen Sinn zu entziffern. Nur vor 100 Jahren fand Newton den Schlüſſel zu dieſem Geheimniß, und die ſorgfältigſten Meſſungen haben uns keine genauere Kenntniß von der wahren Figur der Erde gegeben, als jene aſtronomiſchen Beobachtungen.

2) Aus der Größe der Nutation und Präceſſion, wie ſie durch die Beobachtungen bekannt iſt, läſt ſich die Abplattung der Erde herleiten, wie die Urſache aus der Wirkung. Allein dieſe Abplattung kömmt ſo wenig, wie die Beobachtung der

Pendel-Längen, mit derjenigen genau überein, die aus der Hypothese einer gleichförmigen Vertheilung der Masse im Innern der Erde folgt. Wir müssen hieraus schließen, daß die Erde ein ungleichförmiger Körper ist, der sich aber um eine seiner freyen Axen dreht.

3) Die schärfsten Untersuchungen die über diesen Gegenstand angestellt sind, haben keine einzige Gleichung gegeben, die die Geschwindigkeit der Rotation stört. Theorie und Erfahrung kommen also überein, diesen Grundpfeiler der Sternkunde zu befestigen, daß die Rotation der Erde vollkommen gleichförmig ist, daß die Länge des Tags eine unveränderliche Größe ist, und allein zur Norm aller Zeitmaaße dienen kann. Selbst die Strömungen des Wassers und der Atmosphäre, das Steigen und Fallen des Ozeans, und die beständig herschenden Ostwinde, können die ewige Gleichförmigkeit der Umdrehung der Erde nicht ändern.

Figur des Monds. §. 188. Was uns die Beobachtungen von der Rotation des Monds gelehrt haben, besteht in folgenden Sätzen: 1) die Winkel-Geschwindigkeiten der Umdrehung des Monds und seiner mittleren Bewegung um die Erde, kommen auf das genaueste mit einander überein, so daß dieser Trabant, mit Ausnahme der kleinen periodischen Gleichungen seiner wahren Bewegung, der Erde beständig dieselbe Seite zukehrt (§. 47.); 2) allein die Rotation leidet kleine periodische Schwankungen, die aber von der Art sind, daß jene merkwürdige Uebereinstimmung dadurch nicht gestört wird (§. 48. n. 4.). Diese beyden Thatsachen hängen genau zusammen, und die letztre ist sogar nothwendig, um die erstre zu erhalten, wie wir jetzt mit wenigen Worten zeigen wollen.

Daß der Mond wirklich gerade den Stoß erhalten habe, der erfodert wird, um seine Rotation der progressiven Bewegung genau gleich zu machen, ist so unwahrscheinlich, daß kein Philosoph diesen einzelnen Fall, gegen den es unzählige andre gleich mögliche gibt, annehmen wird, so lange noch die

geringste Möglichkeit ist, die Sache auf eine andre Art zu erklären. Die geringe Entfernung des Monds, und die verhältnismäßig große Masse der Erde, verursachen eine so starke Attraktion auf dem Monde, daß, wenn nur der Stoß den der Mond zuerst erhielt, nicht sehr weit von seinem Mittelpunkt entfernt war, wenn also die Geschwindigkeit womit er sich zu drehen anfing, die seiner progressiven Bewegung nicht sehr übertraf, jene Uebereinstimmung sich von selbst einstellen muste. Um dies zu beweisen, dürfen wir weiter nichts annehmen, als was wir bey der Erde und den übrigen Planeten angenommen haben, und was durch ihre sphäroidische Figur außer Zweifel gesetzt ist, daß nämlich der Mond ursprünglich eine weiche fast kugelförmige Masse war. Wenn er sich nun nicht mit äußerster Schnelligkeit umdrehte, so blieb derjenige seiner Durchmesser, der gerade auf die Erde gerichtet war, lange genug in dieser Richtung, um den Einfluß der Erde zu fühlen, und wegen seiner größern Nähe stärker als die übrigen Theile des Monds angezogen zu werden, sich folglich über sie zu erheben, so wie sich das Wasser unsers Ozeans zum Monde erhebt, nur wegen der größern Masse der Erde, in weit höherem Verhältniß. Der entgegen gesetzte Punkt dieses Durchmessers erhob sich aus dem nämlichen Grunde, weil er als der entfernteste Punkt, weniger als die übrigen zur Erde gezogen ward; und so verlängerte sich der Durchmesser des Monds, der der Erde zugekehrt war. Der hervor ragende Theil dieses Durchmessers war also eine Masse, die außer der gemeinschaftlichen Attraktion des Monds, noch besonders von der Erde angezogen ward, ein an dem Ende dieses Pendels befestigtes Gewicht, welches allein gegen die Erde schwer war, und daher denselben Gesetzen, wie der Pendel, unterworfen seyn muste. Was bey dem Pendel die vertikale Lage ist, ist hier die Richtung nach der Erde. So wie also der Pendel, wenn er durch einen Stoß aus seiner vertikalen Lage gebracht ist, vermöge der Schwere Schwingungen

macht, durch welche er sich unaufhörlich jener Lage wider nähert, so muste auch dieser verlängerte Durchmesser, wenn er gleich die genaue Richtung nach der Erde verloren hatte, durch die Attraktion der Erde zurück gezogen werden, und gleich jenem Pendel nach beyden Seiten Schwingungen machen, deren Mittelpunkt genau nach der Erde gerichtet war. Hiedurch erhielt also der Aeqvator des Monds die Gestalt einer Ellipse, deren große Axe beständig der Erde zugekehrt, uns also unsichtbar ist. Zugleich aber muste die Rotation des Mondes ihn an den Polen eindrücken, so daß der Mond die Gestalt einer Ellipsoide erhielt, die nicht allein an den Polen, sondern auch im Aeqvator eingedrückt ist (§. 176. n. 3.). Die Theorie zeigt, daß die kleine Axe des Aeqvators eine mittlere Größe hat zwischen der großen und der Rotations-Axe, daß aber die Unterschiede für die Beobachtungen ganz unmerklich sind, da sie sich nur auf 130 bis 160 Fuß belaufen.

Schwanken des Monds.

§. 189. Diese Schwingungen des grösten Durchmessers des Mond-Aeqvators um den Mittelpunkt der Erde herum, die erfolgen musten, so bald der Mond einige Härte erhalten hatte, erklären vollkommen die genaue Uebereinstimmung der rotirenden und progressiven Bewegung des Monds, die in kurzer Zeit von selbst entstehen muste, wenn gleich ursprünglich beyde Bewegungen verschieden gewesen waren; es sey dann, daß die anfängliche Rotation so schnell gewesen wäre, daß jener Durchmesser ganze Umläufe statt Schwingungen gemacht hätte, so wie ein Pendel so stark geworfen werden kann, daß er einen ganzen Kreis um seinen Aufhängepunkt beschreibt, statt um ihn hin und her zu oszilliren. Wenn derselbe Durchmesser des Monds der Erde beständig zugekehrt ist, so können wir immer nur dieselbe Hälfte des Mondes sehn, jene kleinen Schwankungen abgerechnet. Man sieht zugleich, daß diese einfache und natürliche Erklärung sich mit eben dem Recht auf alle Trabanten anwenden läst, die ihrem Haupt-Planeten so nahe sind, daß die Attraktion desselben auf ihre

verschiedenen Theile merklich verschieden ist: und hierin liegt wahrscheinlich der physische Grund von dem merkwürdigen Gesetz, welches den Beobachtungen zufolge bey allen Trabanten statt zu finden scheint (§. 50.).

Dieses Schwanken des Mondes ist sogar durchaus nothwendig, wenn er uns beständig dieselbe Seite zukehren soll. Es scheint zwar beym ersten Anblick, daß eben das erreicht würde, wenn die Rotation des Monds mit seiner mittlern Bewegung um die Erde genau überein käme, da wir dann von der hintern Seite des Monds von Zeit zu Zeit nur so viel erblicken würden, als die periodischen Gleichungen des Monds von wenigen Graden betragen, so daß am Ende des Monats oder der Periode dieser Gleichungen, der Erde immer dieselbe Seite wider zugekehrt wäre. Allein bey näherer Untersuchung findet sich hierin ein Widerspruch: denn es entsteht natürlich die Frage, mit welcher mittleren Bewegung die Rotation überein kommen solte. Wir wissen, daß die mittlere Bewegung des Monds seit 10000 Jahren immer schneller geworden ist, und noch über 20000 Jahre zunehmen wird (§. 162.). Da diese Aendrungen nicht periodisch sind, oder vielmehr Perioden von ungeheurer Länge haben, so ist offenbar, daß, wenn die Rotation einer bestimmten mittlern Bewegung, die der Mond zu einer gewissen Zeit hatte, gleich war, sie davon immer mehr abweichen muste, so daß endlich ein beträchtlicher Theil der hintern Mondscheibe zum Vorschein kommen würde, welches aber nicht der Fall ist. Soll also der Mond der Erde beständig dieselbe Seite zukehren, so muß seine Rotation an der Ungleichheit der mittlern Bewegung Theil nehmen; oder da jede freye Rotation ihrer Natur nach gleichförmig ist, so muß eine besondre Kraft dieselbe Seite des Monds zur Erde immer zurück führen. Diese Kraft ist die Attraktion der Erde auf den verlängerten Durchmesser des Mond-Aequators, und die Schwankungen desselben

bringen das merkwürdige Phänomen hervor, das sich den Erdbewohnern seit Jahrtausenden zeigt.

Da der Mond die oben erwähnte Figur einer Ellipsoide hat (§. 176. n. 3.), so geschieht seine Rotation wirklich um eine freye Axe. Diese Rotation wird aber durch die Attraktion der Erde auf den erhabenen Mond-Aeqvator gestört: und hiedurch entsteht eben das Schwanken des Monds.

Perturbationen, die aus der Abplattung entstehen.

§. 190. Wenn man bedenkt, daß der eingedrückte Erdkörper durch die Attraktion des Mondes so große Verrückungen leidet, die sich durch die Präzession und Nutation äußern, so wird man leicht vermuthen, daß eben diese Figur der Erde, durch eine Art von Reaktion, ähnliche Wirkungen in der Mondbahn hervor bringen müsse. In der That zeigen sich diese Wirkungen deutlich an der Bewegung des Monds so wol in der Breite als in der Länge, und sie lassen sich vollkommen erklären, wenn man annimt, daß die Mondbahn die rückgängige Bewegung mit unveränderter Neigung, die sie nach der Analogie haben solte (§. 151.), und die sie auch wirklich haben würde, wenn die Erde eine vollkommene Kugel wäre, nicht längs der Ekliptik selbst, sondern längs einer ihr sehr nahen Ebne verrichtet, welche die Ekliptik beständig in den Aeqvinoktialpunkten schneidet, und zwischen ihr und dem Aeqvator fällt. Da nun die Neigung der Mondbahn gegen diese Ebne sich nie ändert, so muß sie die Ekliptik, nach der verschiedenen Lage ihrer Knoten mit jener Ebne, bald unter grössern bald unter kleinern Winkeln schneiden: so daß ihre Neigung gegen die Ekliptik periodische Aendrungen leidet, die sich an der Breite des Monds zeigen werden. Es ist eben so begreiflich, daß die rückgängige Bewegung der Knoten des Monds mit der Ekliptik und mit jener Ebne, nur auf einer von beyden gleichförmig seyn kann: da sie es also auf der letztern ist, so muß daraus eine ungleichförmige Bewegung der Monds-Knoten mit der Ekliptik entstehn, die sich auch an der Länge des Monds zeigen wird. Hat man also diese Korrektionen

der Länge und Breite durch die Beobachtungen bestimmt, so kann man daraus auf ihre Ursache zurück schließen, und die Figur der Erde bestimmen. In der That hat man durch die genauesten Beobachtungen gefunden, daß beyderley Korrektionen genau dieselbe Abplattung der Erde, nämlich $\frac{1}{305}$ geben. Auch hier zeigt sich also die Beschaffenheit unsers Planeten am Himmel genauer, als auf der Erde selbst.

Auf eben die Art muß die verlängerte Figur des Monds durch die Attraktion der Erde eine ähnliche Wirkung leiden, als die abgeplattete Erde durch die Attraktion des Monds. Auch die Aequinoktialpunkte des Monds, wo sein Aequator die Mondbahn schneidet, weichen beständig zurück, und zwar, wie die Rechnungen und Beobachtungen beweisen, genau so wie die Knoten der Mondbahn mit der Ekliptik, so daß diese Knoten mit seinen Aequinoktialpunkten beständig zusammen fallen.

Fast dieselben Erscheinungen finden bey den Jupiters-Trabanten statt, und die Abplattung Jupiters, die weit beträchtlicher ist als die der Erde, bringt Ungleichheiten ihrer Bewegung hervor, die sich besonders durch die periodischen Aendrungen ihrer Neigung und die fortrückende Bewegung ihrer Knoten zeigen (Th. §. 188.). Die Berechnung derselben durch die Theorie der Attraktion, und ihre Vergleichung mit den Beobachtungen, hat sogar ein Mittel gegeben, die Abplattung Jupiters dadurch genauer zu bestimmen, als es durch Messungen möglich gewesen wäre, nämlich das Verhältniß beyder Durchmesser wie 14 zu 13 (§. 58.). — Mit dem sonderbaren Verhältniß, welches zwischen den mittlern Bewegungen der drey untern Trabanten statt findet (Th. §. 189.), ist es derselbe Fall wie mit der Rotation des Monds. Es ist nicht nöthig, den äußerst unwahrscheinlichen Fall an zu nehmen, daß die Natur den Bahnen dieser drey Weltkörper wirklich eine so vollkommen genaue Uebereinstimmung gegeben habe. Die Theorie hat bewiesen, daß, wenn ihre mittleren

Bewegungen ursprünglich jenem Verhältniß nur sehr nahe kamen, die gegenseitige Attraktion der Trabanten dieses Verhältniß bald vollkommen herstellen muste, und es ewig erhalten wird.

Viertes Kapitel.

Ebbe und Flut.

Einleitung.

§. 191. Unter allen Wirkungen die die Attraktion andrer Weltkörper auf unsern Planeten äußert, liegt uns keine näher vor Augen, keine zeigt sich auf eine so sinnliche Art, oder hat einen so wichtigen Einfluß auf die Geschäfte des gemeinen Lebens, als jene merkwürdige Erscheinung der Ebbe und Flut, die den Griechen und Römern besonders durch die Eroberungen Alexanders und Caesars am Indischen und am Atlantischen Ozean bekannt ward. Daß der Mond in 27 Tagen um die Erde, daß diese in einem Jahr um die Sonne, an einem Seil geführt wird, welches wir uns nicht anders als wie eine anziehende Kraft vorstellen können; daß diese nämliche Kraft die Axe der Erde dreht, und die Sphäre in ihren Angeln erschüttert, — von allem dem fühlen wir nichts; nur das feinere Auge des Geometers ist im Stande, eine Schrift zu erkennen, die für gröbere Sinne ganz unleserlich ist. Aber mit Karakteren die selbst dem ungebildetsten Menschen verständlich, und dem gröbsten Sinne sichtbar sind, schrieb die Natur das große Geheimniß der allgemeinen Attraktion auf eine Tafel, die uns jede Flut zweymal des Tages vor Augen legt. Täglich zu gewissen Stunden hebt sich das Weltmeer, und sinkt wider herab; zweymal täglich, wenn gleich kein Lüftchen sich regt, strömen die Wellen des Meers

in die Flüsse, und fließen wider ab, bringen die Schiffe in die Häfen herein und wider heraus; und die Ebbe entdeckt dem Auge des Naturkundigen Schätze, die sonst auf dem Boden des Meers unbekannt gelegen hätten. Eine solche Erscheinung muß den gleichgültigsten Zuschauer in Erstaunen setzen, und die Regelmäßigkeit der Bewegung, die dem Wechsel der Tages- und Jahres-Zeiten so ähnlich ist, deutet offenbar auf eine physische Ursache, die sich nur in der Bewegung der Weltkörper suchen läst. In der That ist diese Ursache so leicht zu entdecken, daß man nur alle Umstände die bey der Ebbe und Flut statt finden, kennen darf, um ihre Quelle zu errathen.

Bey der folgenden Erzählung sind vorzüglich die sorgfältigen Beobachtungen zum Grunde gelegt, die an der französischen Küste angestellt sind; im ganzen aber bemerkt man ähnliche Erscheinungen an allen Küsten, die nicht durch Meerengen, Vorgebirge, ꝛc. dagegen geschützt sind, so wie ähnliche Lokal-Umstände auch die Flut verstärken können.

Umständliche Beschreibung der Ebbe und Flut.

§. 192. Die vornehmsten Symptome dieser Natur-Erscheinung sind folgende.

1) Das Meer steigt und sinkt an einem bestimmten Ort unaufhörlich, und zwar so regelmäßig, daß es in etwas mehr als 24 Stunden zweymal seinen höchsten Stand (die hohe Flut oder volle See), und zweymal den niedrigsten Stand (die tiefe See) erreicht. Nachdem nämlich die volle See einige Minuten angehalten hat, läuft sie wider ab, und hat nach 6 St. 10 bis 20 Min. ihren niedrigsten Stand; nun schwillt sie in eben der Zeit wider zu ihrer grösten Höhe auf. Dieses Steigen und Fallen dauert, mit geringen Aendrungen so wol der Zeit als der Höhe selbst, unaufhörlich fort; und man nennt erstres, weil es sich in den Häfen und Mündungen der Ströme durch ein wirkliches Zufließen äußert, die Flut, letztres die Ebbe, die sich durch ein Zurückströmen der Flüsse in das Meer zeigt. In einer Zeit von 24 bis 25

Stunden, folglich mehrentheils an jedem Tage, gibt es also zwey Fluten und zwey Ebben; doch begreift man leicht, daß, wenn die erste Flut um Mittag einfiel, die folgende $12\frac{1}{29}$ Stunde später, also schon nach Mitternacht, oder in den folgenden Tag fallen wird, so daß ein solcher Tag nur eine Flut hat.

2) Der Unterschied des höchsten und niedrigsten Standes, oder die totale Flut, ist an jedem Tage verschieden; und die Periode dieser Aendrung ist der periodische Monat von $29\frac{1}{2}$ Tagen, in welcher Zeit die gröste Höhe eine ähnliche Ebbe und Flut leidet, wie die Höhe des Meers überhaupt in einem Tage. Die volle See erhält nämlich zweymal in jedem Monat (anderthalb Tage nach dem Neu- und Voll-Monde) ihren gröstен, und eben so lange nach dem ersten und letzten Viertel ihren kleinsten Werth. Die höchste totale Flut ist also die dritte nach den Syſygien, die niedrigste die dritte nach den Qvadraturen: erstre beträgt zu Brest 18 Par. Fuß $1\frac{1}{2}$ Zoll, letztre 8 Fuß 7 Zoll, also weniger als die Hälfte.

3) Eben diese Periode findet bey der Zeit statt, die zwischen den beyden entsprechenden Fluten jedes Tages verfließt, und im Durchschnitt 24 St. $50\frac{1}{2}$ Min. beträgt, so daß Ebbe und Flut an jedem folgenden Tage um 50 Min. später eintreten. Diese Verzögrung dauert aber in den Syſygien nur 39 Min., in den Qvadraturen 1 St. 15 Min.

4) Die volle See erfolgt an jedem Tage im Durchschnitt 3 Stunden nach dem Durchgange des Monds durch die obere oder untre Hälfte des Meridians; in den Syſygien aber 3 St. $33\frac{1}{3}$ Min., in den Qvadraturen nur 2 St. $30\frac{2}{5}$ Min.

5) Selbst die Entfernung des Monds von der Erde hat einen großen Einfluß, so wol auf die Höhe als auf die Zeit der Flut. Sie ist überhaupt desto stärker, je näher der Mond der Erde ist, und nimt von der Erdferne bis zur Erdnähe um $5\frac{1}{2}$ Fuß zu.

6) In der gemäßigten Zone iſt die Wirkung geringer als in der heißen, und zwar deſto mehr, je weiter ein Ort vom Aeqvator entfernt iſt. Dies äußert ſich nicht allein durch die geringere Höhe, ſondern auch durch die längere Zeit, um welche die Flut nach der Kulmination des Monds erfolgt. In höheren Breiten als 60° oder 65°, zeigt ſich gar keine Ebbe und Flut mehr.

7) Endlich findet hier noch eine dritte Periode, nämlich die jährliche ſtatt, die ſo wol auf die Höhe als die Zeit der Flut, nach der Entfernung der Sonne vom Aeqvator, einen beträchtlichen Einfluß hat. Die Fluten ſind nämlich zweymal im Jahr, zur Zeit der Nachtgleichen, am gröſten, und zur Zeit der Sonnenwenden am niedrigſten: in Breſt beträgt der Unterſchied $2\frac{1}{4}$ Fuß.

8) Auch die Entfernung der Sonne von der Erde in ihrer elliptiſchen Bahn hat einen merklichen Einfluß, ſo daß zwar die Fluten in den Nachtgleichen, wo die Sonne in ihrer mittleren Entfernung iſt, gleich groß ſind, in der Winter-Sonnenwende aber größer als im Anfange des Sommers, weil dort die Sonne in der Erdnähe, hier in der Erdferne iſt: allein dieſer Unterſchied beträgt nur wenige Zoll.

9) Der Einfluß dieſer jährlichen Periode zeigt ſich auf eine ſonderbare Art. Auf der nordlichen Halbkugel ſind nämlich die Fluten der Syſygien im Sommer-Solſtitz des Abends ſtärker, im Winter des Morgens; und im Anfange des Frühlings ſind die Fluten der Qvadraturen des Abends größer, im Herbſt des Morgens: der Unterſchied beträgt in Breſt 5 Zoll. Auf der ſüdlichen Halbkugel findet das Gegentheil ſtatt.

10) Im Anfange des Frühlings und Herbſtes ſind die Fluten der Syſygien größer als gewöhnlich, die der Qvadraturen aber kleiner: im Anfang des Sommers und Winters iſt es umgekehrt.

§. 193. Beym erſten Anblick ſcheint die Periode der Ebbe und Flut, die faſt mit dem Tage überein kömmt

Sie iſt eine Wirkung der ☉ und des ☾.

(§. 192. n. 1.), zu beweisen, daß dieses tägliche Phänomen der Sonne zuzuschreiben sey; und mit den Wirkungen die von den Jahrszeiten abhängen (n. 7—10.), ist dies offenbar der Fall. Da aber die wahre Periode um eine Stunde von der Zeit eines Tages abweicht (n. 1. 3.), so daß die Zeit der Flut sich mit jedem Tage mehr vom Mittage entfernt, und in einem periodischen Monat alle Tageszeiten durchgeht: so kann wenigstens die Sonne nicht die einzige, nicht einmal die vornehmste Ursache seyn, sondern es muß sich irgend eine mächtigere Kraft einmischen, die nicht schwer zu entdecken ist. Die tägliche Verzögrung der Flut von $50\frac{1}{2}$ Min. (n. 3.) kömmt fast genau mit der täglichen Bewegung des Monds von 13° überein (Th. §. 170.), welche die Rotation der Erde in 52 Min. durchläuft; die Zeit der Flut überhaupt richtet sich nach der Kulmination des Monds, nicht der Sonne (n. 4.); und die wichtigsten Umstände und Perioden die dabey statt finden, hängen offenbar mit dem Mondlaufe zusammen (n. 2—5.); die Neumonde, Vollmonde, und Viertel, die den grösten Einfluß auf die Flut haben (n. 2.), sind die vier Hauptpunkte des periodischen Monats, oder der zusammen gesetzten Bewegung des Monds und der Sonne: beyde Weltkörper wirken also auf diese Natur-Erscheinung. Da aber die Zeit der Flut, in Rücksicht der Kulmination des Monds, sich nie um mehr als 1 Stunde ändert (n. 4.), in Absicht auf die Sonne aber alle Tageszeiten durchgeht, so daß die Flut in die Zeit der Ebbe fällt; da der Unterschied der Entfernung des Monds von der Erde einen weit größern Einfluß hat, als der der Entfernung der Sonne (n. 5. 8.); da vermöge der täglichen Retardation von $50\frac{1}{2}$ Min. (n. 3.), die volle See in der That denselben Weg über die Erde nimt, wie der Mond; da wir endlich wissen, daß die Kraft die der Mond auf die verschiedenen Theile der Erde äußert, fast dreymal so groß ist als die Kraft der Sonne (§. 186.): so ist offenbar, daß der Mond hiebey eine viel wichtigere Rolle spielt, als die Sonne;

daß die Flut eigentlich aus zwey ganz verschiednen Wirkungen besteht, deren die eine vom Monde, die andre von der Sonne herrührt; daß man also diese zusammen gesetzte Erscheinung ansehen kann, als wenn sie aus der Wirkung eines Körpers entstände, der beständig zwischen der Sonne und dem Monde liegt, dem letztern aber weit näher als der erstern. Hiedurch werden alle Umstände die bey der Ebbe und Flut statt finden, vollkommen erklärt, wie wir jetzt zeigen wollen.

Ihre allgemeine Erklärung.

§. 194. Unter allen Punkten auf der Oberfläche der Erde, ist derjenige A (46. Fig.) der den Mond oder die Sonne im Zenit hat, diesem Weltkörper am nächsten; so wie der entgegen gesetzte Punkt B, der den Mond im Nadir hat, in diesem Augenblick am entferntesten von ihm ist. Da nun die Attraktion der Weltkörper desto größer ist, je näher sie einander sind, so wird A am stärksten, B am schwächsten vom Monde angezogen; und jeder andre Punkt der Erde M wird nach Maasgabe seiner Entfernung vom Monde, die er durch die tägliche Umwälzung erhält, mehr oder weniger angezogen. Die mittlere Attraktion ist also diejenige, die der Mittelpunkt der Erde T leidet; und es ist offenbar, daß die Attraktion des Mondes in der Figur der Erde, oder des sie bedeckenden Meers, nichts ändern könnte, wenn kein Punkt der Oberfläche mehr oder weniger als T zum Monde gezogen würde. Da aber A stärker angezogen wird als T, so wird A mit dem Ueberschuß seiner Attraktion, sich vom Mittelpunkt zu entfernen suchen, und wirklich von der Erde los gerissen werden, wenn die Schwere ihn nicht zurück hält. Beyde Kräfte wirken einander also entgegen, folglich muß die Schwere, um den Drang des Punkts A zum Monde zu vernichten, um eben so viel verringert werden: A ist also weniger schwer, oder wird durch die Schwere weniger zum Mittelpunkt getrieben, als die übrige Oberfläche M, R, ꝛc. Dasselbe findet beym Nadir B statt: er wird wegen seiner größern Entfernung weniger zum Monde gezogen als T, und da hier die Attraktion

46. Fig.

des Monds B ☾ mit der Schwere zum Mittelpunkt B T überein kömmt, so bleibt B in der Richtung B T A hinter T zurück, er entfernt sich gleichfals vom Mittelpunkt, und wird nur durch die Schwere zurück gehalten, die also dadurch vermindert wird; der Punkt B ist weniger schwer als die übrigen O, E, ꝛc. Die Punkte A, B, sind also die leichtesten im Weltmeer; alle Punkte M, die dem Monde näher liegen als T, werden stärker nach M ☾ gezogen, und diese Attraktion läst sich in die Richtung der Tangente M n, und die darauf senkrechte M m zerlegen, so daß jeder Punkt M sich ebenfalls nach M m erhebt — wiewol in weit geringerem Grade als A, nicht allein weil der Unterschied der Entfernungen vom Monde zwischen M und T geringer ist als zwischen A und T, sondern auch weil M m nur eine der Seitenkräfte ist, aus denen M ☾ besteht, — zugleich aber auch nach M n auf den Punkt A zu strömt. Dies findet bey allen Punkten auf beyden Seiten von A statt, bis zu einer Entfernung von 90°, da die Punkte N, F, die den Mond im Horizont haben, weder mehr noch weniger von ihm entfernt sind, als der Mittelpunkt T, also durch die Anziehung des Monds nichts von ihrer Schwere verlieren, und daher die schwersten Theile der Erdfläche sind. Sie drängen also am stärksten zum Mittelpunkt, so wie A, B, am wenigsten: N, F, sinken durch ihre größere Schwere am tiefsten, und treiben alles übrige weniger schwere Wasser nach beyden Seiten bis A und B. Durch dieses Zuströmen wird das Weltmeer von N oder F bis A und B immer mehr erhoben, und zwar in A und B am meisten. Auf diese Art nimt also das Weltmeer, wie die Erdfläche durch die Schwungkraft, eine elliptische Figur an, deren höchster Punkt (die hohe Flut) den Mond im Zenit oder Nadir hat, die niedrigsten Punkte N, F, aber (die tiefe See oder Ebbe) den Mond im Horizont haben. Man sieht also, warum immer zwey Fluten zugleich sind, nämlich in den Punkten A und B, die den Mond im Zenit und im Nadir haben, und warum jeder Ort

A zweymal des Tages Flut hat, nämlich wenn er den Mond in der obern, und 12 Stunden später in der untern Hälfte des Meridians hat. Alle diese Schlüsse lassen sich auch auf die Sonne anwenden.

§. 195. Nach Newtons Rechnungen, die mit denen welche wir oben bey den Perturbationen des Monds angestellt haben, ganz überein kommen, ist die Kraft womit der Ozean zur Sonne gezogen wird, fast 13 Millionen mal schwächer als seine Schwere zum Erd-Mittelpunkt; und hieraus folgt, daß die von der Sonne herrührende totale Flut (der Stand von A über N) 23 Zoll beträgt. Da nun die Kraft des Monds $\frac{334}{131}$ oder fast dreymal so groß ist (§. 186.), so beträgt die Monds-Flut 60 Zoll, und die aus beyden Wirkungen zusammen gesetzte totale Flut 83 Zoll oder 7 Fuß. Allein man muß bedenken, daß hier kein permanenter Zustand, sondern ein beständiges Ab- und Zuströmen statt findet, welches wie jede Bewegung, wegen der Trägheit des Wassers, eine gewisse Zeit erfodert. Hiezu kömmt der beträchtliche Widerstand, den dieser Strom theils am Boden des Meers, wegen dessen ungleicher Tiefe, wegen der Abgründe und hervorragenden Klippen, theils durch das Reiben der Wassertheilchen an einander, wegen ihrer geschwindern oder langsamern Bewegung, leidet, so wie die geringe Ausdehnung des Ozeans, und seine Unterbrechung durch Land und Inseln. Diese Hindernisse verursachen nicht allein, daß die Flut im offenen Weltmeer nie jene Höhe, sondern nur etwa 3 Fuß erreicht, sondern auch, daß sie beständig an den Küsten, wo man sie allein beobachten kann, später erfolgt, als sie nach der eben gegebenen Erklärung erfolgen solte. Nicht im Augenblick der Kulmination des Monds hat die höchste Flut statt, sondern 3 Stunden später; nicht der Punkt A der den Mond im Zenit oder Nadir hat, sondern ein 45° davon entfernter Punkt, ist der Scheitel des elliptischen Weltmeers: und eine genaue Berechnung der Oszillationen dieses Fluidums von N bis A gibt die-

Fortsetzung.

selben Resultate als die Beobachtungen. Aus eben dieser Ursache kann die Flut nur in großen offenen Meeren merklich seyn. In einem kleinen eingeschlossenen Meer kann offenbar das Wasser seine Figur nicht mehr ändern, als in einem eben so großen Theil des Ozeans, der sich auf der ganzen vom Monde erleuchteten, und auf der entgegen gesetzten Hälfte der Erde, also in einer Ausdehnung von 180°, nur um 3 Fuß erhebt. In einem Meer das nur eine Ausdehnung von wenigen Graden hat, muß diese Erhebung also ganz unmerklich seyn: in den Häfen des mittelländischen Meers, z. B. Toulon, beträgt sie nur 1 Fuß; in der Ostsee ist sie kaum zu bemerken. Wenn gleich hier die Attraktion des Monds dieselbe ist, so fehlt das Zuströmen von allen Seiten, weil es an Wasser fehlt. Die Lokal-Umstände, die auf dieses Zuströmen einen so wichtigen Einfluß haben, können aber auch die Flut so wol vermehren als vermindern. Die Inseln der Südsee sind gleichsam einzelne Punkte des großen Ozeans, und nehmen daher nur an der allgemeinen Flut von 3 Fuß Theil, indeß die Flut in den Häfen von Frankreich und England sich bis zu 20 Fuß, in St. Malo sogar bis 50 Fuß erhebt.

Da endlich der Mond und die Sonne sich nie sehr weit vom Aequator entfernen, so liegen die Polar-Länder immer nahe am Horizont dieser beyden Weltkörper, der die Ebbe bestimmt, und die Höhe derselben über ihrem Horizont ändert sich nur wenig: es ist daher begreiflich, daß die Flut in hohen Breiten unmerklich seyn muß (§. 192. n. 6.).

Zusammengesetzte Wirkung der ☉ und des ☾.

§. 196. Die ganze Theorie der Perturbationen die die Erde leidet, läst sich in folgenden wenigen Sätzen zusammen fassen. Alle Weltkörper die von der Erde so weit entfernt sind, daß sie ihnen wie ein Punkt erscheint, können sie durch ihre Attraktion nur aus der Stelle verrücken, ohne sie zu drehen, oder ihre Figur zu ändern; diejenigen aber, die der Erde so nahe sind, daß der Unterschied der Entfernungen verschiedener Theile der Erde merklich wird — und dies sind,

wie wir gesehn haben (§. 182.), nur die Sonne und der Mond — äußern überdem noch auf die Erde, als Kugel betrachtet, eine Wirkung die darin besteht, daß sie entweder, so fern die Erde ein fester von der Kugl abweichender Körper ist, ihre erhabenen, mithin näheren Theile an sich ziehn, und so die Erde drehn, oder so fern sie mit einer flüssigen Materie bedeckt ist, die nächsten oder fernsten Theile derselben erheben, und so eine Ebbe und Flut verursachen. Da nun Sonne und Mond sich durch den ganzen Himmel von einander entfernen, so entstehn daraus zwey verschiedene Fluten, die sich nach der verschiedenen Lage jener beyden Weltkörper, bald mit einander vermischen, bald einander entgegen wirken. Wir haben gesehn, daß das Zenit und Nadir der Sonne oder des Monds die höchsten Punkte der Flut sind, und daß die niedrigste Ebbe in den Horizont dieser Punkte, also in einen Kreis der 90° davon entfernt ist, fällt. Wenn also das Zenit oder Nadir der Sonne mit dem des Monds zusammen fällt, so vereinigen sich beyde Fluten. Wenn aber Sonne und Mond 90° von einander entfernt sind, so fällt die Ebbe der Sonne mit der Flut des Monds zusammen: beyde wirken einander entgegen, und die wahre Flut ist nur der Ueberschuß der größern Wirkung über die kleinere. Der Punkt der zusammengesetzten Flut wird also nur in den Syzygien mit der Sonne und dem Monde zusammen fallen, und die Höhe der Summe beyder Wirkungen gleich seyn; in allen andern Lagen aber wird jener Punkt, den wir das Zenit der zusammen gesetzten Flut nennen wollen, zwischen beyden Weltkörpern liegen, und in den Quadraturen, wo die Ebbe der Sonne mit der Flut des Monds zusammen fällt, wird die Höhe dem Unterschiede beyder Wirkungen gleich seyn. Um hiedurch alle Umstände der Ebbe und Flut zu erklären, muß man sich erinnern, daß der Punkt der Sphäre, der dem Monde oder der Sonne gerade gegen über steht, eben die Wirkung auf die Flut hat, als die Punkte in denen sich die Weltkörper wirk-

lich befinden (§. 194.), so daß der Vollmond in dieser Rücksicht eben die Lage gegen die Sonne hat, wie der Neumond, und das erste Viertel wie das letzte. In dieser Rücksicht kann die Entfernung des Monds von der Sonne nie größer werden als 90°.

Umständliche Erklärung der Ebbe und Flut.

§. 197. Man sieht also, daß die grösten Fluten in die Sysygien, ie kleinsten in die Qvadraturen fallen müssen. Wenn man nämlich x und y die Wirkungen des Monds und der Sonne nennt, so ist die Flut in den Sysygien $= x + y$, in den Qvadraturen $= x - y$ (§. 196.). Nun verhält sich x zu y wie 3348 zu 1313 (§. 186.), also $x + y : x - y = 4661 : 2035 = 18 : 8$. Dies kömmt dem Verhältniß (§. 192. n. 2.) sehr nahe, und erklärt vollkommen den großen Unterschied, der zwischen den Fluten der Sysygien und der Qvadraturen statt findet.

In den Sysygien ist der Ort des Monds oder der Sonne selbst das Zenit der zusammengesetzten Flut, und sie erfolgt $3\frac{1}{2}$ Stunden nach der Kulmination des Monds (§. 192. n. 4.): man kann also überhaupt annehmen, daß die höchste Flut $3\frac{1}{2}$ Stunden nach der Kulmination desjenigen Punkts erfolgt, in welchem sich die Wirkung konzentrirt. Gleich nach der Konjunktion entfernt sich der Mond links von der Sonne, das Zenit der Flut fällt also rechts oder westlich vom Monde, geht folglich ehr durch den Meridian als der Mond, und dieser Unterschied nimt zu, so lange die Entfernung des Monds von der Sonne wächst, d. i. bis zur Qvadratur, dann aber wider ab. Da nun die Flut $3\frac{1}{2}$ Stunden nach der Kulmination dieses Punkts erfolgt, der vor dem Monde kulminirt, so wird sie um weniger als $3\frac{1}{2}$ St. auf die Kulmination des Monds folgen, und zwar immer weniger, je mehr sich der Mond der Qvadratur nähert. Zwischen der Kulmination des Monds und der vollen See verfließt also die längste Zeit in den Sysygien, die kürzeste in den Qvadraturen (§. 192. n. 4.).

Wenn die Flut allein vom Monde herrührte, so würde sie immer um die nämliche Zeit nach seiner Kulmination erfolgen, und ihre tägliche Verzögrung würde, wegen der Bewegung des Monds von 13°, beständig 52′ betragen (§. 193.): und dies wird sie überhaupt, wenn die Flut an zwey auf einander folgenden Tagen um dieselbe Zeit t nach der Kulmination des Monds eintrifft. Wenn sie aber am folgenden Tage um eine längere Zeit als t nach der Kulmination des Monds eintrifft, so daß t von einem Tage zum andern zunimt, so ist die tägliche Retardation größer als 52′; trifft die Flut aber um eine kürzere Zeit als t nach dem Monde ein, so daß t von einem Tage zum andern abnimt, so retardirt sie weniger als der Mond, und die tägliche Retardation ist kleiner als 52′. Da nun die Zeit t, um welche die Flut nach der Kulmination des Monds eintrit, von den Syſygien bis zu den Quadraturen ab, von diesen bis jenen aber zunimt (§. 192. n. 4.), so muß die tägliche Retardation der Flut in den Syſygien kleiner als 52′ seyn, in den Quadraturen aber größer, sie muß dort ihren kleinsten, hier ihren grösten Werth haben (§. 192. n. 3.).

Wenn der Mond in ☾ (46. Fig.) eine nordliche Abweichung hat, so sind A und B die Oerter auf der Erde, die volle See haben, indem der Mond durch den Meridian PMR geht, und der Ort M in der nordlichen gemäßigten Zone nimt, wegen seiner geringen Entfernung von A, an dieser Flut Theil. Nach 12 St. 25 Min. hat die Erde eine halbe Wendung gemacht, der Ort M ist nach N geführt, und nimt nun, da der Mond durch die untre Hälfte des Meridians von M oder N geht, an der Flut B Theil, aber weit geringeren als vorher, weil NB ▷ MA ist. Hat der Mond in L eine südliche Deklination, so sind D, E, die Punkte der höchsten Flut beym obern und untern Durchgange des Monds durch den Meridian: ein nordlicher Ort M hat also im erstern Fall eine geringere Flut, als im letztern wenn er in N ist, weil MD ▷ NE

ist. Hieraus folgt überhaupt, daß in der nordlichen gemäßigten Zone, die grösten Fluten nach dem obern Durchgange des Monds durch den Meridian eintreten, wenn der Mond eine nordliche Deklination hat, beym untern aber, wenn er südlich vom Aequator ist. Da nun wegen der geringen Neigung der Mondbahn von 5°, diese Ebne fast dieselbe Lage wie die Ekliptik hat, so daß ihre Durchschnittspunkte mit dem Aequator sich von den Aequinoktialpunkten nie um mehr als höchstens 13° entfernen können, so folgt, daß im Anfange des Frühlings der neue Mond in den Aequator, das erste Viertel in die gröste nordliche Abweichung des Monds, und das letzte in die gröste südliche fällt; daß im Anfange des Sommers der neue Mond die gröste nordliche, der volle Mond aber die gröste südliche Abweichung hat; daß im Anfange des Herbstes der neue Mond in den Herbst-Punkt, das erste Viertel also in die gröste südliche, und das letzte in die gröste nordliche Abweichung fällt; daß endlich im Anfange des Winters der neue Mond die gröste südliche, der volle Mond die gröste nordliche Abweichung hat. Man kann sich hievon durch die Ephemeriden, so wie durch die Erfahrung jedes Jahres überzeugen: denn es liegt hierin der Grund von der wohlthätigen Einrichtung, vermöge welcher die Bewohner beyder Halbkugeln der Erde den vollen Mond im Winter, da sie sein Licht so sehr bedürfen, weit länger über dem Horizont haben, als im Sommer da sie ihn entbehren können. — Verbindet man nun hiemit, was eben von den beyden Fluten nach dem obern und untern Durchgange des Monds durch den Meridian bewiesen ist, so erhellt, daß auf der nordlichen Halbkugel 1) im Frühlinge die Fluten in den Quadraturen am grösten sind, beym obern Durchgange des ersten Viertels, und beym untern Durchgange des letzten Viertels, also immer des Abends, weil der Mond im ersten Viertel des Abends, im letzten des Morgens um 6 Uhr kulminirt; 2) daß aus dem nämlichen Grunde, im Herbst die grösten Fluten der Quadraturen beym untern Durch-

gange des erſten Viertels, und beym obern des letzten Viertels, alſo des Morgens eintreffen; 3) daß im Sommer die gröſten Fluten der Syſygien nach dem obern Durchgange des Neumonds (der um Mittag fällt), und nach dem untern des Vollmonds (deſſen obrer Durchgang in die Mitternacht fällt), alſo immer in den Abend-Stunden eintreten; 4) daß endlich im Winter die gröſten Fluten der Syſygien nach dem untern Durchgange des Neumonds, und nach dem obern des Vollmonds, alſo des Morgens eintreffen. Man ſieht leicht, daß aus dem nämlichen Grunde, auf der ſüdlichen Halbkugel von allem dieſem das Gegentheil ſtatt finden muß, daß hiedurch alſo vollkommen die Beobachtungen erklärt werden (§. 192. n. 9.).

Die Theorie der Attraktion, und der Oſzillationen des Meers, beweiſt endlich, daß die Wirkungen ſo wol des Monds als der Sonne, die wir x und y genannt haben, deſto geringer werden, je weiter ſich dieſe Weltkörper vom Aeqvator entfernen. Da wir nun geſehn haben, daß die Fluten der Syſygien durch $x+y$, die der Qvadraturen durch $x-y$ ausgedrückt werden können; daß ferner im Anfange des Frühlings und Herbſtes, ſo wol die Sonne als der neue und volle Mond ſich im Aeqvator ſelbſt befinden, der Mond in den Qvadraturen aber ſeine gröſte Abweichung hat, ſo daß y ſeinen gröſten Werth hat, x aber in den Syſygien ſeinen gröſten, in den Qvadraturen ſeinen kleinſten; daß endlich im Anfange des Sommers und Winters, die Sonne ſo wie der neue und volle Mond die gröſte Abweichung hat, der Mond in den Qvadraturen aber gar keine Abweichung, ſo daß y ſeinen kleinſten Werth hat, x aber ſeinen kleinſten in den Syſygien, ſeinen gröſten in den Qvadraturen: ſo folgt, daß in den Nachtgleichen $x+y$ ein Gröſtes iſt, weil x und y in den Syſygien ihren gröſten Werth haben, $x-y$ aber ein Kleinſtes, weil in den Qvadraturen x ſeinen kleinſten, y ſeinen gröſten Werth hat; daß aber in den Sonnenwenden $x+y$ ein Kleinſtes iſt, weil x und y in den Syſygien ihren kleinſten Werth haben,

und x — y ein Gröstes, weil in den Quadraturen x seinen gröſten Werth hat, und dessen Einfluß dreymal so groß ist als der von y. Dies heist mit andern Worten: in den Nachtgleichen sind die Fluten der Syſygien am gröſten, die der Quadraturen am kleinſten; in den Sonnenwenden aber sind die Fluten der Syſygien am kleinſten, die der Quadraturen am gröſten (§. 192. n. 10.).

Beſtändige Winde.

§. 198. Die beyden Gipfel der vollen See befinden sich beſtändig in faſt gleichen Entfernungen vom Zenit oder Nadir des Mondes; die Flut macht alſo täglich denſelben Weg über die Erdfläche, wie der Mond durch die Umdrehung der Erde: und so ſcheint es, daß das Weltmeer durch die Ebbe und Flut einen beſtändigen Strom von Oſten nach Weſten erhalten müſſe. Man wird ſogar geneigt ſeyn, dieſe Schlüſſe noch weiter aus zu dehnen, und es für eine ganz natürliche Folge zu halten, daß die Sonne und der Mond durch ihre Attraktion, nicht allein das Waſſer ſondern auch die Atmoſphäre der Erde von Oſten nach Weſten hinter ſich her ziehn: wodurch dann die zwiſchen den Wendekreiſen beſtändig herſchenden Oſtwinde (vents alisés) erklärt wären. Allein eine genauere Unterſuchung zeigt, daß die Attraktion der Sonne und des Monds keine ſtrömende, ſondern nur eine wellenförmige Bewegung, ſo wol im Ozean als in der Atmoſphäre hervor bringen kann. So bald die Umdrehung der Erde den höchſten Punkt der Flut weit genug vom Monde entfernt hat, daß die Schwere zum Mittelpunkt der Erde ihr Uebergewicht über die Attraktion des Mondes wider erhält, ſo wird das Waſſer dieſes Hügels auf dem kürzeſten Wege zum Mittelpunkt zurück eilen, es wird nicht bloß nach Weſten, ſondern nach beyden Seiten ablaufen. Die beſtändigen Oſtwinde müſſen alſo eine andre Urſache haben, und dieſe beſteht wahrſcheinlich in der Erwärmung der Luft. In der heißen Zone wird die Luft durch die Sonnenſtralen am ſtärkſten erwärmt, folglich auch verdünnt: ſie wird ſich alſo in einen gröſsern Raum ausdehnen, und

zwar nach derjenigen Richtung wo sie keinen Widerstand findet, d. i. nach oben. So bald sie sich aber über die benachbarte Luft erhoben hat, so wird sie durch ihre Schwere, gleich jedem flüssigen Körper, nach beyden Seiten, nämlich nach den beyden gemäßigten Zonen abfließen; woraus in den öbern Regionen der Luft zwischen den Wendekreisen, ein beständiger Strom vom Aequator nach den Polen entsteht. Dieser Abfluß hebt natürlich das Gleichgewicht auf, welches nur dadurch hergestellt werden kann, daß die dichtere kalte Luft der gemäßigten Zone in die Stelle der verringerten Masse der warmen Luft der heißen Zone trit: und so entsteht in den untern Luftschichten ein entgegen gesetzter Strom von den Polen zum Aequator. Die Atmosphäre erhält durch die Rotation der Erde von Westen nach Osten, dieselbe Geschwindigkeit wie die Erde selbst, aber nur wie derjenige Theil der Erdfläche, oder der Parallel, über dem sie sich befindet, weil sonst aus der Rotation der Erde allein ein beständiger Luftzug erfolgen würde. Die von den Polen zuströmende Luft bringt also nur diejenige Geschwindigkeit von Westen nach Osten mit, die der kältern Zone, oder dem kleineren Parallel zukömmt, von dem sie ausfloß, und stößt nun in der heißen Zone auf eine Luft, die eine größere Geschwindigkeit nach Osten hat, diejenige nämlich, die dem Aequator oder dem größern Parallel zukömmt. Da sie diese größere Geschwindigkeit nicht sogleich annehmen kann, so wird sie nach Westen hin zurück bleiben, folglich auf die von Westen nach Osten zudringende Luft der heißen Zone einen Widerstand äußern, der sich den Erdbewohnern, die ihre eigene Bewegung nicht bemerken, wie ein Stoß von Osten nach Westen, oder wie ein beständiger Ostwind fühlbar macht (Th. §. 85.).

§. 199. Wenn man bedenkt, daß die Attraktion der Sonne und des Monds, ehr sie den Ozean erreicht, ein andres Meer von luftigerem Gewebe, unsre Atmosphäre durchdringen muß, so scheint nichts natürlicher, als daß diese Kraft Witterung.

die das Weltmeer in die Höhe hebt, auch im Dunstkreise Bewegungen und Revolutionen hervorbringen müsse, wovon vielleicht unsre Witterung grösstentheils abhängt. In der That ist kein Zweifel, daß in der Atmosphäre täglich eine ähnliche Ebbe und Flut statt findet, wie im Ozean, die sich durch Winde, vorzüglich aber durch das Steigen und Sinken des Barometers zeigen würde. Allein, so wie die Flut im offenen Weltmeer nur 2 bis 3 Fuß beträgt, durch Lokal-Umstände an den Küsten aber bis zu 20 ja 40 Fuß vergrößert, oder ganz vernichtet wird, so wird die Ebbe und Flut der Atmosphäre, durch die unordentlicher aber weit stärker wirkenden physischen Ursachen, ganz unmerklich gemacht. Unter diesen Ursachen sind die wichtigsten, die Wärme und Kälte der Luft, die nicht allein von den Sonnenstralen unmittelbar, sondern vorzüglich von der größern oder geringeren Reflexion des Erdbodens, ja selbst von der Beschaffenheit des Erdreichs, kurz von Lokal-Umständen herrührt, und die zugleich die Elastizität und Dichtigkeit der Luft ändert, also das Gleichgewicht zwischen den verschiedenen Regionen der Atmosphäre aufhebt; der aus der erwärmenden Kraft der Sonnenstralen entstehende beständige Luft-Strom vom Aequator nach den Polen, von diesen zurück, und von Osten nach Westen, so wie das Reiben der Theile an einander, welches eine natürliche Folge ihrer Rotations-Geschwindigkeit ist (§. 198.); die mancherley chemischen Prozesse die in den unzähligen und mannigfaltigen Dünsten vorgehn, mit denen unsre Atmosphäre beständig angefüllt ist, und die, so klein sie anfänglich sind, sich wegen der vollkommenen Flüssigkeit und Elastizität der Luft, entfernten Gegenden augenblicklich mittheilen. Diese und andre Ursachen irdischen Ursprungs, machen durch ihre starke und unregelmäßige Wirkung, daß die eigentliche Ebbe und Flut der Atmosphäre sich ganz verliert. — Hieraus sehen wir zugleich, was man von dem Einfluß der Phasen des Monds, und der 19jährigen Sonnen- und Monds-Periode, auf die Witte-

rung zu halten hat. Wie solte die monatliche Modifikation der Ebbe und Flut zu bemerken seyn, wenn die tägliche selbst nicht merklich ist!

Man könnte zwar den Einwurf machen, daß die Flut der Luft durch Lokal-Umstände zwar vermehrt oder vermindert, aber nicht ganz vernichtet werden könne, so wie sich die Ebbe und Flut des Wassers mitten im Weltmeer bemerken läst. Allein dieser Einwurf läst sich auf eine Art beantworten, die uns noch mehr überzeugen wird, daß der Einfluß der Ebbe und Flut der Luft auf die Witterung ganz unmerklich seyn muß. Bloß die Oberfläche des Meers nimt eine elliptische Gestalt an: hier ist es wo die Flut merklich ist, hier ist es auch wo wir sie beobachten, und man begreift leicht, daß auf dem Boden des Meers nicht allein kein Steigen und Sinken statt finden kann, sondern daß selbst die Bewegung des Wassers, durch den Widerstand der Unebenheiten des Bodens, und durch den Druck des obern Wassers, unmerklich werden muß. Wenn also gleich in den öbern Regionen der Luft eine beträchtliche und regelmäßige Ebbe und Flut statt findet, so ist es doch höchst unwahrscheinlich, daß wir, die wir auf dem Boden dieses Luft-Meers unsre Beobachtungen anstellen, sie bemerken könnten, oder daß sie einen bedeutenden Einfluß auf die Witterung der untern Luftschichten haben könnte.

Aerolithen.

§. 200. Vielleicht aber findet zwischen der Erde und ihrem Trabanten ein viel engeres Band, und eine Gemeinschaft statt, die sich unsern Sinnen sehr fühlbar macht. Nach dem Urtheil eines Mannes, dessen Stimme in allen mathematischen und physischen Wissenschaften das gröste Gewicht hat (*). ist es sehr wahrscheinlich, daß jenes merkwürdige Meteor, welches mit den von den Alten so häufig erwähnten Steinregen,

(*) S. *Exposition du Système du Monde, par M. La Place.* 3 edit. livre 4. chap. 5. pag. 232.

und mit den von ihnen verehrten heiligen Steinen vielleicht einerley ist, und welches, nachdem es in den neuesten Zeiten die Aufmerksamkeit der Naturkundigen erregt hat, fast zu einer alltäglichen Erscheinung geworden ist, daß mit einem Wort, die Feuerkugeln, und die aus der Luft herab fallenden Steinmassen oder Mineralien, nichts anders als Auswürfe der Monds-Vulkane sind. Wir wissen, daß die uns zugekehrte Oberfläche des Monds mit unzähligen Vulkanen bedeckt ist, deren Ausbrüche sich uns noch jetzt zeigen (§. 70.). Da nun die Schwere auf dem Monde fünfmal geringer ist, als auf der Erde (§. 125.), da ferner die äußerst feine Atmosphäre des Monds (§. 69.) der Bewegung keinen merklichen Widerstand entgegen setzen kann: so begreift man leicht, welche ungeheure Höhe Körper erreichen können, die vom Monde mit großer Schnelligkeit fort geschleudert werden. Wenn man sich nun erinnert, daß die Erd-Masse $68\frac{1}{2}$ mal größer ist als die Masse des Monds (§. 125.), daß die Attraktionen sich verkehrt wie die Qvadrate der Entfernungen verhalten, und daß die Entfernung des Monds von der Erde 60 Erd-Halbmesser beträgt (§. 7.): so wird man durch eine leichte Rechnung finden, daß, wenn ein Körper zwischen dem Monde und der Erde um $6\frac{1}{2}$, oder jenseits des Monds um 8, oder nach der Seite hin um $7\frac{1}{3}$ Erd-Halbmesser vom Monde entfernt ist, die Attraktionen der Erde und des Monds gleich stark auf ihn wirken; so bald er sich also weiter vom Monde entfernt, so überwiegt die Attraktion der Erde. Wenn man nun annimt, daß die Monds-Vulkane Massen mit einer Geschwindigkeit von 8000 Fuß in 1 Sekunde fort schleudern (welches wahrscheinlich nicht viel schneller ist, als die Auswürfe unsrer eigenen Vulkane), so werden diese Massen, nach welcher Seite sie auch geworfen seyn mögen, in einer Zeit von 5 Stunden eine Entfernung vom Monde erreichen, wo sie von der Erde stärker als vom Monde angezogen werden: und nun läst sich leicht voraus sehn, was ihr Schicksal seyn wird. Ging ihre Rich-

tung gerade auf die Erde zu (wie es bey den Vulkanen in der Mitte der uns zugekehrten Mondſcheibe der Fall ſeyn wird), ſo werden ſie nun durch die Attraktion der Erde, mit beſchleunigter Bewegung zur Erde geriſſen, und auf die Erde fallen. Eben dies wird auch der Fall mit ſolchen Maſſen ſeyn, die zwar nicht gerade auf die Erde zu geworfen werden, aber doch nahe genug bey ihr vorbey gehn, um in ihre Atmoſphäre zu gerathen, weil ſie alsdenn durch den Widerſtand derſelben immer näher zur Erde gedrückt, folglich immer ſtärker von ihr angezogen werden, bis ſie ihre Oberfläche erreichen. In jedem andern Fall aber, ſelbſt wenn die Maſſe von der hintern Seite des Monds ausgeworfen iſt, muß ſie, ſo bald ſie in die Region gelangt iſt, wo die Erde ſie ſtärker anzieht als der Mond, der Attraktion der Erde und den Keplerſchen Geſetzen ſo gut wie der Mond ſelbſt gehorchen, weil kein andrer Planet in der Nähe iſt, der ſie daran hindern könnte. Sie wird alſo einen Kegelſchnitt um die Erde beſchreiben, und es laſſen ſich unzählige Fälle denken, wo dieſer Kegelſchnitt durch die ſtörende Kraft der Sonne ſo geändert werden muß, daß der Körper bey jedem Umlauf ſich der Erde mehr nähert, bis er endlich in ihre Atmoſphäre geräth, und dann durch ihren Widerſtand ganz auf die Erde herab geſtürzt wird. Daß die Reibung der Luft an der Oberfläche eines ſolchen Körpers, bey ſeiner ſchnellen Bewegung, und bey den Stoffen aus denen er beſteht, allein hinlänglich iſt, eine Entzündung und Exploſion zu verurſachen, ſcheint wol außer Zweifel: und ſo wären dann alle Phänomene, die man bey den Aerolithen bemerkt hat, erklärt. Man muß geſtehn, daß dieſe Hypotheſe befriedigender als irgend eine, die große Gleichförmigkeit erklärt, die in der Zuſammenſetzung dieſer Maſſen ſtatt findet, und die nicht allein zu beweiſen ſcheint, daß ſie alle aus einer Quelle kommen, ſondern auch daß ſie vulkaniſchen Urſprungs ſind.

Fünftes Kapitel.

Allgemeine Betrachtungen.

Rekapitulation. §. 201. Diejenigen Leser die bis hieher den Muth gehabt haben, das ganze Gebiet der Astronomie mit dem Verfasser durch zu gehn, werden am Ende dieser langen Reise auch noch so viel Geduld haben, einen Blick auf das durchreisete Land zurück zu werfen, und sich über die gesehenen Merkwürdigkeiten Rechenschaft zu geben, so wie Reisegefährten zu thun pflegen, ehr sie sich an der Gränze des mit Vergnügen durchwanderten Landes vielleicht auf immer trennen, um ein jeder in seine Heimath zurück zu eilen. Die Fragen die ein denkender Reisender am Ende seiner Wanderschaft sich vorlegen wird, oder die er andern zu beantworten hat, sind etwa folgende: begreist du von jeder Eigenheit des Klima's, oder der Sitten des Volks von dem du zurück kömmst, den physischen oder moralischen Grund? hast du nichts übersehen, was etwa bey einer folgenden Reise nach zu holen wäre? was sind die Früchte deiner Reise, welche höhere Bildung hat dein Geist dadurch erhalten? Alle diese Fragen lassen sich mit größerem Recht beym Studium der Sternkunde aufwerfen, und eine kurze Rekapitulation ihrer vornehmsten Wahrheiten wird uns von selbst darauf führen.

Die Sternkunde hat zuerst den Schleyer von dem magischen Bande weg gezogen, welches die ganze Körper-Welt umschlingt. Wie der Trieb zur Geselligkeit Geister einander nähert, so werden die Körper durch die Attraktion verbunden. Jeder Körper zieht alle andern an sich, und wird von ihnen angezogen, nach einem allgemeinen Gesetz das Newton zuerst entdeckte. Jeder Weltkörper muste hiedurch allein, eine Bewegung oder einen Stoß nach derjenigen Seite erhalten, nach welcher er am stärksten gezogen ward. Was aber auch immer die Ursache des ersten Stoßes, der alles in Bewegung setzte,

gewesen seyn mag, so wissen wir, daß er bey allen Weltkörpern die wir näher kennen, nicht durch ihren Schwerpunkt ging, ihnen folglich mit der fortrückenden zugleich eine drehende Bewegung mittheilte. Die erste wird durch die Attraktion irgend eines Zentralkörpers, in eine krummlinigte Bewegung verwandelt, die nach jenem allgemeinen Gesetz, nur in einem Kegelschnitt nach den Keplerschen Gesetzen geschehen kann. Alle Planeten und Trabanten beschreiben nur wenig vom Kreise abweichende Ellipsen, um den Zentralkörper im einen Brennpunkt, von der rechten nach der linken Seite, und die meisten Bahnen liegen in einer Ebne, die die Ekliptik und den Aequator der Sonne unter sehr kleinen Winkeln schneidet. Das Verhältniß zwischen den Zeiten eines Umlaufs um den Zentralkörper und einer Umdrehung, ist bey den Planeten sehr verschieden, bey den Trabanten sind beyde gleich. Die Kometen unterscheiden sich von den Planeten nicht allein durch ihre äußerst ekzentrischen Bahnen, sondern auch dadurch daß ihre Bewegung alle möglichen Lagen und Richtungen hat. Alle diese unzähligen Körper wirken auf einander nach eben dem Gesetz, wie die Sonne auf sie wirkt: jeder Planet sucht den andern aus seiner Bahn heraus zu ziehn, treibt ihn an oder hält ihn zurück; und hieraus entstehn nicht allein in der Bewegung jedes Planeten Abweichungen von den Keplerschen Gesetzen, oder periodische Gleichungen, sondern die Ellipsen selbst ändern ihre Lage und Gestalt unaufhörlich, wiewol sehr langsam. Allein auch diese Sekular-Gleichungen sind nur periodisch, und bestehn in kleinen Schwankungen um einen gewissen mittleren Zustand, in Ab- und Zunehmen. Das einzige Element, welches durch alle diese Perturbationen keine Aendrung leidet, ist die große Axe der Ellipse, oder die mittlere Bewegung, die sich immer gleich bleibt. Aus dieser Wirkung der Planeten auf die Lage der Erdbahn oder der Ekliptik, entsteht die seit 2000 Jahren fortwährende Abnahme der Schiefe der Ekliptik, die beständige Aendrung der Breite

und Länge der Sterne, das allmählige Vorrücken der Apsiden, und die Abnahme der Ekzentrizität der Erdbahn: und ähnliche Verrückungen finden bey allen Planeten statt. Wenn die Weltkörper einander sehr nahe, und nicht vollkommen kugelrund sind, so stören sie gegenseitig auch ihre Umdrehung. Der Erde ist nur der Mond und die Sonne nahe genug, und aus der Wirkung dieser beyden Weltkörper auf die abgeplattete Figur der Erde, entsteht das beständige Zurückweichen der Aequinoktialpunkte, und die davon herrührende, unter dem Namen **Präzession** bekannte Aendrung der Rektaszension und Deklination der Sterne, so wie die Korrektion dieser Bewegung oder die Gleichung des Aequinoktialpunkts, und die Nutation der Erd-Axe oder die Korrektion der Schiefe der Ekliptik, in der Periode von $18\frac{1}{2}$ Jahren. Endlich ist die täglich zweymal erfolgende Ebbe und Flut eine Folge dieser Wirkung.

Alle diese verwickelten Bewegungen, wovon wir nur einen sehr kleinen Theil kennen, finden ohne Zweifel in jedem andern Sonnen-System statt. Jeden der unzähligen Sterne, die wir am Himmel zerstreut sehn, jeden der unzähligen leuchtenden Punkte, aus denen die Milchstraße und die noch entfernteren Nebelflecken zusammen gesetzt sind, und von denen das Licht welches heute unser Auge erreicht, schon vor Jahrtausenden ausgeströmt ist, kann man als den Mittelpunkt eines Planeten-Systems ansehn, welches wahrscheinlich von dem unsrigen sehr verschieden ist, aber doch denselben Gesetzen gehorcht, in dem neue uns unbekannte Schönheiten, aber dennoch ähnliche Verhältnisse statt finden. Selbst zwischen den fernsten Milchstraßen findet eine Gemeinschaft statt, nicht bloß durch das Licht welches sie sich zuschicken, nicht bloß durch die gegenseitige Attraktion, so wie Uranus auf den Merkur wirkt, sondern vielleicht durch Kometen, die von einem System zum andern gehn. Die hyperbolische Bahn der Kometen ist nicht unwahrscheinlicher als die elliptische: im letztern Fall bleibt der Komet ewig ein Theil unsers Sonnen-Systems, im erstern

aber entfernt er sich auf immer von der Sonne, wenn er sich einmal an ihren Stralen erwärmt hat; er dringt in die Gränzen eines benachbarten Sonnen-Systems, nähert sich dieser neuen Sonne, um vielleicht auch sie in einer Hyperbel auf immer zu verlassen, und so von Sonne zu Sonne, von Milchstraße zu Milchstraße, das Weltall zu durchwandern.

Künftige Untersuchungen.

§. 202. Diese im buchstäblichen Sinn ekzentrischen Bahnen zu berechnen, liegt gänzlich außer unsrer Sphäre; aber es gibt andre Gegenstände, deren Untersuchung den Astronomen künftiger Zeiten vorbehalten ist. Die eigene Bewegung unsrer Sonne und unsers ganzen Systems, so wie der nächsten Sterne, nach welcher Gegend des Himmels geht sie? um welchen Zentralkörper? was ist ihre Periode? Was ist aus den erloschenen Licht-Körpern geworden, die ehemals wie Sterne der ersten oder zweyten Größe am Firmament glänzten? Gibt es nicht vielleicht eben so viele und eben so große dunkle Körper am Himmel, als leuchtende? Bilden sich die unförmlichen Lichtmassen mit der Zeit zu Sonnen? Befindet sich der merkwürdige Nebelfleck Orions in diesem Zustande, und was für Verändrungen gehn in ihm vor? Eine Menge ähnlicher Fragen kann man aufwerfen, deren Beantwortung sich nur erst nach Jahrtausenden oder Millionen von Jahren erwarten läst, da die Astronomen mit dem angestrengtesten Fleiß, in 2000 Jahren nur einen Theil unsers Sonnen-Systems kennen gelernt haben. Auch in dieser unsrer Nachbarschaft werden künftige Astronomen genug zu entdecken und zu beantworten haben. Noch mancher Planet, Komet oder Trabant, durchläuft vielleicht vor unsern Augen verborgen, seine elliptische Bahn. Die Natur der Kometen und des sie umgebenden Lichtschweifs, ist uns noch so gut wie ganz unbekannt. Kaum hat man angefangen, die Perturbationen zu berechnen, die die vier neuen Planeten leiden. Die Masse der Venus, deren Wirkung auf unsre Bahn einen so wichtigen Einfluß hat, kann nur durch künftige Beobachtungen genauer bestimmt

werden. Die Revolutionen die auf dem Monde und auf den übrigen Planeten vorgehn, werden uns vielleicht nicht immer ein Geheimniß bleiben; und der merkwürdige Ring Saturns wird einst große Aufschlüsse über die Physik des Himmels geben.

Großes Räthsel.

§. 203. Der Karakter unsers Sonnen-Systems, wodurch es sich vielleicht von allen andern unterscheidet, läst sich in folgenden Sätzen zusammen fassen. Die Weltkörper aus denen dieses System besteht, machen zwey Klassen aus, die Planeten mit ihren Begleitern, und die Kometen, die folgende wesentliche Verschiedenheiten haben. 1) Erstre bewegen sich um die Sonne oder ihren Haupt-Planeten, und drehn sich um eine Axe, nicht allein nach derselben Richtung, sondern auch in einer Ebne die nur wenig vom Sonnen-Aeqvator abweicht, d. h. sie laufen und drehn sich alle nach derselben Richtung, wie die Sonne selbst. 2) Ihre Ellipsen sind nur sehr wenig vom Kreise verschieden. 3) Die Bewegung der Kometen hat alle möglichen Richtungen und Lagen. 4) Ihre Bahnen sind sämmtlich äußerst ekzentrisch: es gibt also im ganzen Sonnen-System keine mittlere Ekzentrizität, keine Nüance zwischen den fast kreisförmigen und den fast parabolischen Bahnen.

Die vollkommene Gleichförmigkeit aller planetarischen Bewegungen, und die große Lücke die zwischen den Planeten- und Kometen-Bahnen statt findet, macht es unmöglich, hiebey an Zufall zu denken. Denn wenn auf der einen Seite die Kometen-Bahnen so vertheilt scheinen, wie es der Zufall mit sich bringt, warum sind ihre Bahnen so sehr ekzentrisch? warum gibt es keine Ekzentrizität von mittlerer Größe? warum findet bey den Planeten-Bahnen von allen möglichen Fällen nur ein einziger statt? Hier hat offenbar nicht der blinde Zufall, sondern eine bestimmte Ursache gewirkt. Allein, wie konnte dieselbe Ursache so verschiedene Wirkungen hervor bringen, und so ganz anders auf die Planeten als auf die Kometen wirken?

Der Verfasser glaubt, daß seine Leser es ihm Dank wissen werden, wenn er, anstatt sich zu bemühen, durch eigene

Ideen dieſes Räthſel zu erklären, ihnen ſagt, wie die beyden großen Geometer, denen die phyſiſche Aſtronomie ſo viel verdankt, derjenige der die Wiſſenſchaft erfand, und der welcher ſie zu ihrer jetzigen Vollkommenheit gebracht hat, darüber gedacht haben. Newton erklärte es gerade zu für ein Räthſel, das ſich nur durch die Weisheit und Allmacht des Urhebers der Natur, der es ſo und nicht anders wolte, auflöſen läſt (*). „Alle Planeten und Monde", ſind ſeine Worte, „laufen in „kreisförmigen Bahnen, nach eben der Richtung, faſt in der„ſelben Ebne. Dieſe regelmäßige Bewegung kann keine me„chaniſche Urſache haben, da die Kometen alle andern mögli„chen Bewegungen haben. Nur durch den Willen eines wei„ſen und mächtigen Weſens, konnte dieſe ſchöne, aus Sonnen, „Planeten und Kometen zuſammen geſetzte Maſchine entſte„Alle die unzähligen Fixſtern-Syſteme ſind, nach ähnlichem „Plan gebaut, der Herrſchaft dieſes Einzigen unterworfen, „der ſie durch ungeheure Klüfte von einander trennte, damit „ſie durch ihre Attraktion nicht zuſammen fielen. Dieſer „Παντοκράτωρ regiert das Ganze, nicht als Weltſeele, ſondern „als Herr des Univerſums". Man ſieht, daß Newton, mit ſeinem gewöhnlichen Scharfſinn, die vornehmſte Schwierigkeit darin fand, eine Urſache an zu geben, die den Planeten und Kometen zugleich zwey ganz verſchiedene Bewegungen mittheilen konnte: eine Schwierigkeit, die H. La Place durch folgende Erklärung ſo glücklich gehoben hat (**).

§. 204. Die Bewegung der Kometen erfodert keine beſondre Erklärung: denn alle möglichen Fälle finden bey ihnen wirklich ſtatt, und ihre Bahnen ſind ſo vertheilt, wie es der Zufall, oder die unendliche Mannigfaltigkeit der durch keine beſondre Urſache eingeſchränkten Natur mit ſich bringt. Man

Urſprung der Kometen.

(*) *Phil. Nat. Princ. Math.* Lib. 3. Schol. Gen. am Ende.

(**) *Expos. du Syst. du Monde.* Liv. 5. Chap. 6.

muß also die Kometen gleichsam wie die ächten ältsten Bewohner des Sonnen-Systems ansehn; und es gab, aller Wahrscheinlichkeit nach, zufolge eben des Gesetzes der Mannigfaltigkeit, welches wir bey der Lage ihrer Bahnen beobachtet sehen, unter ihnen ursprünglich auch alle möglichen Formen der Bahnen, alle möglichen Ekzentrizitäten. Es kömmt also nur darauf an, eine Ursache ausfindig zu machen, wodurch alle Kometen von nicht sehr ekzentrischer Bahn verschwunden sind; und diese Ursache muß, wenn die Erklärung dem einfachen Gange der Natur entsprechen soll, zugleich von der Bewegung der Planeten und der Sonne Rechenschaft geben. Durch folgende Hypothese werden alle diese Fodrungen erfüllt.

Lange vor jener Epoche, da die Sonne und die Planeten sich aus dem Chaos entwickelten, war das Gebiet der Sonne, oder vielmehr der ungeheuren Zentral-Masse die allen den Stoff enthielt, woraus sich einst Sonne und Planeten bilden solten, von unzähligen Kometen bevölkert, die ihre Bahnen von großen und kleinen Ekzentrizitäten, in allen Richtungen und Lagen, um jene Zentral-Masse durchliefen. Diese Masse selbst war, durch eine zu ihrer vollkommeneren Bildung nothwendige Entzündung, zum Theil in Dämpfe aufgelöst, und bestand aus einem dichteren Kern, der von einer Atmosphäre umgeben war, die sich jenseits der jetzigen Bahn des Uranus ausdehnte. Alle Kometen, die während dieses Zustandes in die Sonnen-Atmosphäre geriethen, musten von ihr einen so großen Widerstand leiden, und ihre Bewegung muste so sehr dadurch gehemmt werden, daß sie, besonders wenn sie lange darin verweilten, d. h. wenn ihre Bahnen nicht sehr ekzentrisch waren, nicht mehr zurück kehren konnten, sondern Theile jener ungeheuren Zentral-Masse wurden. Nur diejenigen Kometen konnten ihre selbstständige Existenz retten, die sich, so lange dieser Zustand dauerte, außer jener Atmosphäre befanden, deren kreisförmige Bahnen also entweder von so ungeheurer Größe sind, daß ihr Perihelium weiter von der

Sonne entfernt ist, als der fernste Planet, oder die sich eben in der Gegend der Sonnenferne ihrer ekzentrischen Bahnen befanden. So blieben also nur solche Kometen über, die entweder äußerst ekzentrische Bahnen haben, so wie alle die uns von Zeit zu Zeit zu Gesicht kommen, oder solche, die ihre wenig ekzentrischen Bahnen in so großen Entfernungen von der Sonne beschreiben, daß sie uns immer unsichtbar bleiben werden.

der Planeten.

§. 205. Wenn nun der Zentral-Kern, durch den Willen des Schöpfers, oder durch irgend einen Stoß, eine Rotation in der Richtung des jetzigen Sonnen-Aeqvators erhalten hatte, wie es durch die Beobachtungen bewiesen ist (§. 46.), so muste sich diese Rotation, durch das beständige Reiben der Theile an einander, der Atmosphäre mittheilen, bis endlich die ganze Zentral-Masse, so lange sie noch zusammen hing, dieselbe Rotation erhielt. So bald aber die Wirkung jenes Feuers nachließ, so daß der Kern, und dann die Atmosphäre nach und nach erkaltete, folglich zusammen gezogen ward, so entstanden Zwischenräume; die ganze Atmosphäre theilte sich, bey jedem neuen Grad der Erkältung, in mehrere Kugelschichten, die ihre Rotation beybehielten. Die Rotation kann aber in derselben Entfernung nur fortdauern, wenn die daraus entstehende Schwungkraft mit der Schwere zum Zentral-Kern genau im Gleichgewicht ist. Da nun die Schwere der innern Theile wegen ihrer geringeren Entfernung, und der außer dem Aeqvator liegenden wegen ihrer kleineren Schwungkraft (§. 168.), größer ist, so musten sich diese Theile von den übrigen losreißen, und der Sonne mehr nähern: sie blieben Theile der Sonnen-Atmosphäre, und ließen eine Aeqvatorial-Zone, einen isolirten Ring zurück, dessen fortdauernde Rotation nun ein wahrer Umlauf um die Sonne ward, welcher bey jeder dieser getrennten Aeqvatorial-Zonen diejenige Geschwindigkeit annehmen muste, die dem dritten Keplerschen Gesetz zukömmt. Ehr nun diese verschiedenen Zonen sich völlig verhärteten, konnten dreyerley Erfolge statt haben.

1) Wenn die Masse einer Zone ganz gleichförmig war, so konnte nach keinem ihrer Theile eine stärkere Attraktion als nach dem andern entstehn; die Zone behielt ihre ursprüngliche Gestalt, und ward zum festen Ringe: hievon haben wir ein Beyspiel am Saturns-Ringe.

2) Wenn es aber einzelne dichtere Massen oder Knoten gab, so häufte sich um jeden derselben, durch die stärkere Attraktion, die Materie der Zone an, und bildete sich zu Kugeln; der Ring trennte sich in mehrere Planeten, die in derselben Entfernung, um die Sonne liefen, oder doch nur in wenig verschiedenen Entfernungen, nachdem sie sich näher an der äussern oder der innern Gränze der Zone gebildet hatten: die vier neuen Planeten scheinen sich in diesem Fall befunden zu haben.

3) Gab es endlich in der Zone eine einzige überwiegend dichte Masse, so bildete sich auf die nämliche Art, in jeder Zone, in jeder Entfernung von der Sonne, nur ein einziger Planet, der seine Bewegung um die Sonne, in der Richtung des Sonnen-Aequators, nach den Keplerschen Gesetzen fortsetzte: und in diesem Fall befinden sich alle übrigen Planeten.

Dies erklärt also vollkommen die Bildung der Planeten, ihre kreisförmige Bahn, und ihre Bewegung nach derselben Richtung, die mit der Rotation der Sonne überein kömmt. Eben so leicht läst sich daraus ihre Rotation erklären. So lange jeder Ring, als eine zusammen hängende Masse von Dünsten, sich um die Sonne drehte, hatten seine äußersten Theile, weil sie einen größern Kreis beschrieben, eine schnellere Bewegung nach der linken Seite, als die innern. Dies muste fortdauern, als sich diese Dünste zu Planeten-Kugeln bildeten, so daß die von der Sonne abgewandten Theile jedes Planeten eine größere Geschwindigkeit erhielten, als die der Sonne zugekehrten: woraus dann natürlich eine Rotation des Planeten nach derselben Richtung entstand, nach der sie um die Sonne laufen.

Diese Hypothese hat nichts unwahrscheinliches. Selbst auf unserm Planeten finden wir Spuren, daß er die Feuer-Probe wie die Wasser-Probe durchgegangen ist: und ähnliche Revolutionen oder Entwicklungen waren es vielleicht, die jene merkwürdigen Sterne (§. 73.) Jahre lang im schönsten Feuer glänzen, und dann auf immer erlöschen ließen. Vielleicht gibt es eben so viele Zentralkörper am Himmel, die, nachdem sie ihre Feuerprobe ausgehalten haben, zu dunkeln uns unsichtbaren Körpern geworden sind, als solche, die eine leuchtende Atmosphäre gerettet haben, und nun als Sterne glänzen (§. 202.).

der Trabanten, des Ringes, und der Atmosphäre.

§. 206. Es ist offenbar, daß jeder Planet im Augenblick seiner Bildung, so wie sie eben vorgestellt ist, sich ganz in demselben Zustande befand, wie die Sonne, ehr sich die Planeten aus ihrer Atmosphäre entwickelten. Der Planet drehte sich, gleich der Sonne, um eine Axe, und der Theil der Sonnen-Atmosphäre, den er sich zugeeignet hatte, konnte sich nur nach und nach zusammen ziehn, so wie der Planet selbst, durch vollkommene Erkältung, sich zu einem festen Kern verdichtete. Er war also von einer weit ausgedehnten Atmosphäre umgeben, die an seiner Rotation Theil nahm, in der also, bey größerer Erkältung, dieselben Resultate erfolgen mußten. So wie sich dort um die Sonne Planeten bildeten, so bildeten sich hier um den Planeten Trabanten, die sich nach derselben Richtung wie er sich drehte, um ihn bewegen und drehen; oder es entstanden feste Ringe, welcher seltene Fall aber nur dann statt haben konnte, wenn die Masse sehr gleichförmig war; oder endlich es entstand weder das eine noch das andre, wenn die Atmosphäre die er an sich gerissen hatte, ihm so nahe war, daß sie sich ganz mit ihm vereinigte, und seinen eigentlichen Dunstkreis bildete.

Von allen drey Fällen finden wir Beyspiele in unserm Planeten-System: vom letzten die meisten, vom ersten vier, vom zweyten nur eins, und dies verdient noch eine ge-

nauere Erörtrung. Indem die Zone sich von allen Seiten losgerissen hatte, und einen isolirten Körper bildete, muste sie diejenige Bewegung annehmen, die ihrer Entfernung vom Zentralkörper, nach dem dritten Keplerschen Gesetz zu kam. War nun diese gesetzmäßige Bewegung von der, die sie im Augenblick ihrer Bildung hatte, und die mit der Rotation des Zentralkörpers überein kam, verschieden, so muste ihre Bewegung, um jenen Werth zu erhalten, langsamer werden; und hieraus allein musten in der Zone Lücken und Trennungen entstehn, die dann die allmächtige Kraft der Attraktion sogleich benutzte, um Planeten-Kugeln zu bilden. Befand sich aber die Zone in derjenigen Entfernung vom Planeten, welcher nach dem dritten Keplerschen Gesetz eine der Rotation des Planeten gleiche Umlaufs-Zeit zukömmt, so hatte sie von selbst die Bewegung die sie nach ihrer Entfernung haben sollte; nichts hinderte ihre Bewegung, und sie blieb ein fester Ring. Dies scheint in der That der Fall beym Saturns-Ringe zu seyn. Der VI Saturns-Trabant, dessen Beobachtungen bey allen übrigen zum Grunde liegen, hat eine Umlaufs-Zeit von 15 T. 22 St. 41 M. oder 22961′, seine Entfernung beträgt 20,295 Halbmesser des Saturns (Th. §. 188.), und Saturn dreht sich in 10 St. 16 M. oder 616′ um eine Axe (§. 49.). Nach dem dritten Keplerschen Gesetze (Th. §. 140.) findet man also die Entfernung x, die der Ring vom Saturn haben solte, durch die Proportion, $22961^2 : 616^2 = 20{,}295^3 : x^3$, und dies gibt $x^3 = 6{,}01654$, also $x = 1{,}82$ oder beynahe zwey Halbmesser des Saturns: welches fast genau mit den Messungen überein stimmt (Th. §. 191.).

Diese Theorie führt uns zugleich zur Bestimmung der Größe der Sonnen-Atmosphäre. Durch die schnelle Rotation der Sonne erhält diese Atmosphäre eine Schwungkraft, die sie ganz von der Sonne losreißen würde, wenn sie nicht durch die Schwere zurück gehalten würde. Die äußerste Gränze der Atmosphäre kann sich daher nur bis dahin ausdehnen, wo die

Attraktion der Sonne der Schwungkraft genau das Gleichgewicht hält: die weiter entfernten Dünſte haben, wegen ihrer größern Schwungkraft und geringeren Schwere, nichts was ſie zurück hält, ſie werden ſich alſo nach der Tangente entfernen, und ganz von der Sonne zerſtreuen. An der äußerſten Gränze der Atmoſphäre alſo, wo Schwere und Schwungkraft im Gleichgewicht ſind, würden die Dünſte, wenn ſie auch ganz von der Sonne getrennt wären, ungehindert einen Kreis um die Sonne in der Zeit beſchreiben, da dieſe ſich um ihre Axe dreht. Sie befinden ſich alſo in dem Fall eines Planeten, der in eben dieſer Entfernung nach dem dritten Keplerſchen Geſetz einen Umlauf macht. Da nun die Erde in 365,25 Tagen um die Sonne läuft, dieſe aber in 25 Tagen ſich um ihre Axe dreht (§. 46. n. 3.), ſo findet man die äußerſte Gränze der Sonnen-Atmoſphäre x, nach dem dritten Keplerſchen Geſetz, durch die Proportion, $365{,}25^2 : 25^2 = 1 : x^3$, und dies gibt $x = 0{,}16733$ Halbmeſſer der Erdbahn, alſo weniger als die Hälfte der Merkurs-Bahn (Th. §. 147.). Die Sonnen-Atmoſphäre dehnt ſich alſo nicht bis an die Merkurs-Bahn, viel weniger bis an die Mars-Bahn aus: ſie kann alſo nicht mit dem Zodiakallicht einerley ſeyn (§. 55.), ſondern dies entſteht wahrſcheinlich aus den feineren Theilen der ehemaligen Sonnen-Atmoſphäre, die jenſeits jener Gränze von ihr entfernt waren, und ſich daher von ihr losriſſen, und im Weltraum zerſtreuten, die aber zu flüchtiger lichtartiger Natur waren, um ſich zuſammen zu ballen, oder mit den Planeten zu vereinigen, und ſo zerſtreut ihren Umlauf um die Sonne in großen Entfernungen fortſetzen.

Nutzen der Sternkunde.

§. 207. Die Sternkunde darf keine Vergleichung mit andern Wiſſenſchaften, in Rückſicht des praktiſchen Nutzens, dem einzigen Geſichtspunkt aus dem man gewöhnlich die Wiſſenſchaften zu würdigen pflegt, ſcheuen; und es würde höchſt unnöthig ſeyn, am Ende eines Syſtems der Aſtronomie, den denkenden Leſer auf die mannigfaltigen Früchte aufmerkſam zu

machen, die die optischen, mechanischen, und alle mathematischen Wissenschaften, die Physik, die Geographie, die Nautik, und alle Geschäfte des menschlichen Lebens, dem Fleiß der Astronomen verdanken. Allein nicht jeder Reisender ist ein Kaufmann, der den Nutzen seiner Reise bloß nach den zu Gelde zu machenden neuen Handels-Verbindungen berechnet. Die Wissenschaften wie die Reisen und alle wichtigen Unternehmungen unsers Lebens, solten einen höheren Zweck haben, die Bildung des Geistes, die genauere Kenntniß der physischen und moralischen Welt, und die Auflösung des für jedes vernünftige Wesen wichtigen Räthsels, der Fragen über den Ursprung und die Bestimmung unsrer selbst, und der Dinge die wir außer uns sehn. Die physische Astronomie läst sich nicht schicklicher schließen, als so wie sie der Erfinder dieser erhabenen Wissenschaft schloß (§. 203. (*)), mit der Erhebung unsrer Gedanken zu dem großen Urheber des Ganzen. In der That erinnert uns weder die Philosophie, noch irgend ein Theil der Naturlehre, so oft hieran, als die Natur im großen, die der Gegenstand der Sternkunde ist. Unwillkührlich kömmt man, wenn man alles physisch erklärt zu haben glaubt, auf einen ersten Augenblick zurück, wo unter mehreren ganz gleichgültigen Fällen offenbar nur freyer Wille gewählt haben konnte. Wenn gleich die bisher gegebenen Erklärungen von allen Bewegungen der Weltkörper vollkommen befriedigend wären, so blieben doch noch eine Menge Umstände über, die, weil sie ganz gleichgültig sind, weil sie sich auf nichts gründen, und auf den Plan des Weltgebäudes keinen wesentlichen Einfluß haben, sich nicht anders als durch die freye willkührliche Wahl eines allweisen und allmächtigen Wesens erklären lassen, welches alles aus dem Nichts hervor rief. Hieher gehören die Bewegungen aller Planeten nach der linken, und nicht nach der rechten Seite, der bey der Ausführung des Plans ganz willkührliche Maasstab (§. 103.), und überhaupt die Richtung aller Bewegungen, wobey sich durchaus an keine Nothwendig-

keit denken läst. Keine Wissenschaft ist geschickter als die Sternkunde, den Eigendünkel der sich auf nichts gründet, zu demütigen, und statt dessen ein gegründetes Selbstgefühl zu erwecken. Der Mensch, der sich für den Mittelpunkt der physischen wie der moralischen Welt hält, der sich einbildet, daß das ganze Firmament um ihn herum laufe, oder daß der Urheber der Natur ihm zu gefallen sein Wesen verleugnet habe, darf nur die Sternkunde studiren, um sein ganzes Nichts und das lächerliche seiner Einbildung zu fühlen; aber eben dieses Studium wird ihm den menschlichen Geist von einer Seite zeigen, die ehrenvoller ist, als der Wahn von dem er geheilt ward. Wenn man bedenkt, welch ein unmerkliches Pünktchen unser Erdball im Sonnen-System einnimt, welches selbst wieder im Verhältniß zur Milchstraße, so wie diese in Vergleichung mit den Nebelflecken verschwindet, so fühlt man freylich lebhaft die untergeordnete Rolle, die das Menschengeschlecht mit seinem Wohnort im Weltall spielt, und die Nichtigkeit alles dessen, womit wir uns hier so ämsig beschäftigen, und was uns hier so groß scheint; aber wenn man nun seinen Blick zu den ungeheuren Fernen erhebt, die unser Auge aus diesem Winkel durchdrungen hat, wenn man sich erinnert, aus welchem eingeschränkten Standpunkt die erhabensten Entdeckungen gemacht sind, auf welcher kleinen Standlinie die Messungen gegründet sind, aus denen sich der Plan und die Größe des Weltgebäudes, und alle Gesetze der Bewegung der Weltkörper, entwickelt haben, so muß man den menschlichen Geist bewundern, man ahnet seine höhere Bestimmung, und man fühlt, daß, so niedrig die physische Rolle ist, die die Natur uns angewiesen hat, es doch ein moralisches Band gibt, das uns mit dem Weltall in Verbindung setzt, und daß Geist und Herz uns zu einem weit höheren Range erheben können, als zu dem unsre physische Existenz uns bestimmt zu haben schien.

Dauerhafter Zustand des Universums.

§. 208. Die letzte Frage, die dem Philosophen desto wichtiger seyn muß, je tiefer er in die Geheimnisse der Stern-

kunde eingedrungen ist, läst sich auf eine nicht minder befriedigende Art beantworten. Was wird aus diesem prächtigen Gebäude einst werden? Wird es, gleich allen von Menschen-Händen aufgeführten, in Ruinen verfallen, wird es gleich den kleinern Gegenständen der Natur, die wir auf unserm Planeten beobachten, eine ununterbrochene Reihe von Revolutionen, Verwandlungen und Auflösungen durchgehn, oder ist es zu ewiger Dauer bestimmt, und gibt es einen Zustand, von dem es sich nie entfernen kann? Es würde vermessen seyn, diese Fragen entscheidend beantworten zu wollen; doch dürfen wir aus dem was uns die Beobachtungen lehren, Schlüsse ziehn, die wenigstens zu einer hohen Wahrscheinlichkeit, und zu Resultaten führen, die jedem der für das wirklich große Sinn hat, ein angenehmes Gefühl machen müssen.

Daß das ganze Weltall, wenn gleich einzelne Theile desselben zu Trümmern gehn oder beständigen Verändrungen unterworfen sind, ein Werk für die Ewigkeit sey, ist ein so natürlicher Gedanke, daß nur die Entdeckung einer wirklichen Anlage zu endlicher Zerstörung uns vom Gegentheil überzeugen kann. Selbst auf unserm Planeten bemerken wir keine Spur von gänzlicher Zerstörung, und der ewige Kreislauf der vegetabilischen und animalischen Natur besteht nur in Schwankungen um einen nie, oder nur unmerklich sich ändernden Zustand. Pflanzen und Thiere sterben, um durch ihren Stoff die Natur zu verjüngen, Sommer und Winter wechseln, um die erschöpften Kräfte der Natur zu erneuern und wider in Thätigkeit zu setzen; aber diese periodischen Gleichungen ändern die Natur unsers Erdbodens im ganzen nicht, und vor Jahrtausenden war die Ede, wie jetzt, von Meeren und Flüssen, Bergen und Thälern bedeckt, von derselben Luft, die dieselben Dünste trug, umgeben, mit denselben Bäumen und Früchten geziert, von denselben Thieren und Menschen bewohnt, und jede Zone genoß dasselbe Klima. Vielleicht gibt es auch hier unmerkliche wirkliche Sekular-Gleichungen, und der Men-

schenfreund tröstet sich gern mit der Vorstellung, daß Erdbeben und Kriege dazu beytragen, den Wohnsitz des Menschen-Geschlechts schöner und milder zu machen, und das Geschlecht selbst zu einer höheren Vollkommenheit zu führen; aber nichts beweist eine Tendenz zu endlicher Zerstörung oder zum Zurücksinken ins ursprüngliche Chaos, und wenn die Geschichte zeigt, daß die Kultur der Bewohner und des Bodens selbst, oft einen Schritt zurück gethan hat, so wird es wahrscheinlich, daß auch diese Sekular-Gleichungen, wie die astronomischen, nur Schwankungen um einen bestimmten Zustand sind, den wir nie überschreiten können.

Die Bewegungen der Weltkörper geschehn nach den Keplerschen Gesetzen, welche nothwendige physische Gesetze sind: sie tragen also den Keim der Ewigkeit in sich, und können nur durch äußre Ursachen gestört werden. Solcher Ursachen lassen sich nur folgende denken: 1) Widerstand des Fluidums in dem die Planeten schwimmen, oder des Aethers; 2) ihre gegenseitigen Perturbationen; 3) Stoß fremder noch unbekannter Körper.

Widerstand des Aethers.

§. 209. Es ist wahr, daß der Widerstand des Aethers die Wurfs-Geschwindigkeit des Planeten nach der Tangente seiner Bahn vermindern würde: hiedurch würde das zur elliptischen Bewegung nothwendige Verhältniß der Tangentialkraft zur Zentralkraft aufgehoben, diese würde das Uebergewicht erhalten, der Planet würde dem Zug zur Sonne nachgeben, und sich ihr immer mehr nähern, bis er in der Sonne selbst sein Grab fände (§. 98. 204.). Man könnte sogar vermuthen, daß bey der Bildung der Planeten, die flüchtigen Theile die sich von der eigentlichen Atmosphäre losgerissen haben, den Weltraum erfüllen müssen, so wie es mit der Materie des Zodiakallichts wirklich der Fall zu seyn scheint (§. 206.); und in der That würde unsre Atmosphäre, wenn das gewöhnlich angenommene Gesetz, daß die Elastizität der Luft ihrer Dichtigkeit proportional sey, vollkommen richtig wäre, sich endlich ganz von der Erde zerstreuen, weil die Federkraft der je

desmaligen äußersten Luftschichte durch nichts gehindert würde, sich nach oben aus zu dehnen. Da aber unsre Atmosphäre nicht abnimt, so kann dieses Gesetz nur bis zu einer gewissen Gränze statt finden, es muß einen geringen Grad von Dichtigkeit geben, bey dem die Luft gar nicht mehr elastisch ist, und dies bestimmt die äußerste Gränze der Atmosphäre. Auf diese äußerste Luft wirkt nun bloß die Schwere, sie kann sich also nie von der Erde trennen: und so vereinigt jeder Weltkörper um sich her eine angemessene Atmosphäre, von der sich nichts im Weltall zerstreut. Aber selbst, wenn jenes Gesetz, welches den Beobachtungen zufolge, an der Oberfläche der Erde wirklich statt findet, sich auch bis in die gröste Ferne ausdehnte, so würde daraus folgen, daß unsre Luft in der geringen Höhe von 45 Meilen schon 75 Billionen mal feiner oder dünner wäre, als an der Erde, daß also in der Entfernung des Monds, und noch mehr der Planeten, nichts von ihr übrig seyn könnte. Hier kann also nur die Erfahrung entscheiden, und die sagt uns, daß seit Jahrtausenden nicht der geringste Widerstand des Aethers, der sich durch die Verkürzung unsers Jahrs zeigen müste, merklich ist, daß also von dieser Seite nichts zu befürchten ist.

Sekular-Gleichungen.

§. 210. Die gegenseitigen Störungen der Planeten bestehen, wie wir gesehn haben (§. 160—164.), nur in periodischen Aendrungen, und selbst die so genannten Sekular-Gleichungen sind nur kleine Schwingungen um einen von der Natur bestimmten Zustand, zu dem die Elemente der Planetenbahnen unaufhörlich zurück kehren. Das einzige Element, bey dem eine immer währende Aendrung statt zu haben scheint, ist die Lage der Apsiden; und dies ist auch gerade das einzige, welches auf das Ganze gar keinen Einfluß hat. Ob eine Ellipse, die ohnedem sehr wenig vom Kreise abweicht, ihren Scheitel nach diesem oder jenem Gestirn hin wendet, das ist vollkommen gleichgültig; aber das System der Planeten, welches darin besteht, daß ihre kreisförmigen Bahnen fast in eis

ner Ebne liegen, würde gestört werden, wenn ihre Knotenlinien, ihre Neigungen, oder ihre Ekzentrizitäten, immer fort sich änderten. Die Dauerhaftigkeit des Systems erfodert also, daß diese Elemente nur periodische Aendrungen leiden, und daß die große Axe der Ellipse ganz unveränderlich ist. Bey diesem letzten Element finden keine periodischen Aendrungen statt: denn die Planetenbahn würde dadurch nicht etwa ihre Gestalt oder ihre Lage ändern, sondern ganz aus ihrer Sphäre heraus gerissen werden, dieselbe Ursache würde nicht aufhören zu wirken, die Planeten würden endlich in die Sonne fallen, oder wenigstens würden die Verhältnisse ihrer Entfernungen, die genau für den dauerhaften Zustand der übrigen Elemente berechnet sind, dadurch ganz geändert werden. Dieser Zustand beruht auf der Vertheilung der Massen, die der Urheber der Natur in unserm Sonnen-System unter unzähligen andern erwählt hat. Die Bewegung der Planeten, nach eben den physischen Gesetzen, in anders gelegten Bahnen, würde durch ihre gegenseitigen Störungen totale Aendrungen leiden, die mit einer Zerstörung des ganzen schönen Gebäudes endigen könnten; aber die wirklich getroffene Vertheilung läst nur periodische Aendrungen zu. Hier konnte kein Zufall statt finden, und nur der unendlichen Weisheit war es möglich, dieses verwickelte Problem auf zu lösen, welches um so schwerer ist, da hier das kleinste Versehen die wichtigsten Folgen haben kann.

Der Beweis, daß es in unserm Sonnen-System keine Störung der großen Axen gebe, beruht auf zwey Voraussetzungen, 1) daß es keine störenden Körper gibt, die eine rückgängige Bewegung haben, 2) daß das Verhältniß der Umlaufszeiten jeder zwey Planeten nicht commensurabel ist, oder sich nicht durch ganze Zahlen genau ausdrücken läst. Man kann sich hievon auf folgende Art sehr leicht überzeugen. Jede Perturbation der Länge und der Entfernung läst sich durch $A \sin (int - i'n't + C)$ ausdrücken (§. 164.): sie ist also periodisch, weil der Winkel $int - i'n't$ mit der Zeit t uns

aufhörlich wächst, mithin der Sinus bald ab bald zunimt, aber nie eine gewisse Gränze überschreiten kann; und ihre Periode ist die Zeit t, in der int — i'n't sich um 360° ändert. Wenn aber zwischen den Entfernungen oder mittlern Bewegungen beyder Planeten, n, n', ein Verhältniß statt findet, welches sich durch zwey ganze Zahlen i, i', ausdrücken läst, so daß n:n' = i':i, oder in = i'n', folglich in — i'n' = o ist, so wird jene Gleichung = A sin C, und int — i'n't bleibt beständig = o, oder sie hat die Ewigkeit zur Periode, sie hört auf periodisch zu seyn: sie ist also eine wirkliche Sekular-Gleichung der mittlern Länge. Zugleich wird der Koeffizient A, der durch (in — i'n')² dividirt ist (§. 164.), ungeheuer groß, wenn in — i'n' = o wird. Je mehr sich also das Verhältniß der großen Axen zweyer Planetenbahnen der Kommensurabilität nähert, desto größer wird die daraus entstehende Perturbation, und desto länger ihre Periode: die incommensurabeln Verhältnisse waren also zur Erhaltung unsers Planeten-Systems sehr nothwendig. Man wird sich erinnern, daß die Gleichung Jupiters und Saturns (§. 164.) bloß deswegen so beträchtlich und von einer so langen Periode ist, weil die mittleren Bewegungen beyder Planeten sich beynahe wie 5 und 2 verhalten: und in der That würde dieses Verhältniß genau statt finden, wenn die Umlaufs-Zeit Jupiters 4 Wochen kürzer wäre, und hiezu würde nur erfodert, daß Jupiter der Sonne um den 224sten Theil näher wäre, d. i. um den 50sten Theil des Halbmessers der Erdbahn, oder um 21 seiner Durchmesser. Manchem ist es vielleicht aufgefallen, daß die Umlaufszeiten der Planeten sich selbst in Tertien nicht genau ausdrücken lassen (Th. §. 122.), weil alle diese Perioden unter einander und mit der Rotation der Erde kein gemeinschaftliches Maaß haben; aber nur wenige ahnen, daß in dieser scheinbaren Unordnung das große Geheimniß verborgen liegt, wodurch die Natur für die ewige Dauer ihres Werks gesorgt hat. Aus eben diesem Grunde war es auch

nöthig, daß die großen Massen, und die einander beständig nahe genug sind, mit einem Wort, daß die Planeten sich alle nach einer Richtung bewegen.

§. 211. Diese letzte Bemerkung zeigt, daß die Kometen die sich nach allen Richtungen bewegen, in der That Seculär-Gleichungen oder wahre Zerrüttungen im Planeten-System verursachen könnten, wenn ihre Massen beträchtlich genug wären, oder wenn sie lange genug in unsrer Nachbarschaft verweilten. Allein auch von dieser Seite scheint nichts zu befürchten zu seyn. Es ist freylich nicht unmöglich, daß irgend ein noch unbekannter Komet, vielleicht einer der in hyperbolischer Bahn von einem andern Fixstern sich in unser Sonnen-System verliert, gerade auf die Erde stößt, und nicht bloß ihre Bahn verrückt, sondern fürchterlichere Katastrophen herbey führt; und es ist wahrscheinlich, daß im ganzen Laufe der Zeiten, unter den unzähligen Kometen, einer oder mehrere wirklich die Erde oder den Mond berührt haben. Woher kömmt es dann, daß sich uns keine Spuren davon zeigen? Freylich könnte man antworten, daß Ueberschwemmungen und andre physische Revolutionen, die dadurch angerichtet seyn mögen, sich endlich, wie eine vor Alter unleserliche Schrift, verwischt haben; allein die Störungen der Bewegung, deren Folgen unvergänglich sind, würden den Astronomen nicht entgangen seyn, und sich beym Monde vorzüglich durch eine starke Abweichung der Rotation von der progressiven Bewegung äußern. Man muß hieraus schließen, daß die Massen der Kometen ganz unbedeutend sind, und weniger als den 100000sten Theil der Erd-Masse betragen, daß sie wahrscheinlich aus Dunstkugeln bestehn, die gar keinen oder einen unmerklichen soliden Kern einschließen (§. 72.), daß sie also nie eine thätige Rolle von Bedeutung im Sonnen-System spielen können, so groß auch vielleicht die Wirkungen seyn mögen, die sie in der Nachbarschaft der großen Planeten selbst leiden, oder die sie in ihrer Sonnennähe zu befürchten haben. Der Komet von

Störung durch elliptische Kometen.

1680 kam der Sonne 50mal näher als Merkur (Th. §. 159.), drang also tief in die Sonnen-Atmosphäre ein (§. 204.). Es ist daher nicht unmöglich, daß es Kometen gibt, die, wie in der Zeit die der Bildung der Planeten vorher ging (§. 203.), durch den Widerstand der Sonnen-Atmosphäre in diesen Zentralkörper gestürzt werden, oder deren Dünste vielmehr Theile der Sonnen-Atmosphäre werden, um auf diese Art den Verlust zu ersetzen, den die Sonne durch das ewige Ausströmen ihres Lichts leiden muß; so wie es auch vielleicht andre gibt, die einen Theil der Sonnen-Atmosphäre mit sich fort reißen, der dann von andern wider ersetzt wird.

Beschluß. §. 212. Solche Ereignisse können, da sie zu weit außer unsrer Sphäre liegen, weder Gegenstände für philosophische Untersuchungen, noch für abergläubige Furcht seyn. Für uns sind die Kometen durchreisende Fremdlinge, und unsre Heimath ist das Planeten-System. Vielleicht würde uns eine nähere Bekanntschaft mit jenen nicht weniger Anlaß zur Bewundrung und Anbetung geben, als die Betrachtung unsrer Nachbarschaft. Jeder Fortschritt, jede Entdeckung die in der Astronomie gemacht ist, gibt einen neuen Beweis, daß eine weise und gütige Vorsehung über uns waltet, die für die ewige Dauer und Ordnung des Ganzen gesorgt hat, daß alles den Keim der Unsterblichkeit in sich trägt, und daß nichts den einmal eröffneten Sphären-Tanz unterbrechen kann.

Indessen würde man sich vielleicht sehr irren, wenn man hieraus schließen wolte, daß alle Revolutionen die den Weltkörpern bevor standen, im ersten Augenblick ihrer Bildung mit ihnen vorgegangen sind, oder daß der ewige Kreislauf der Natur sich nicht auf ganze Weltkörper erstrecke. Niemand weiß es besser als der Astronom, daß Groß und Klein nur relative Begriffe sind. Die Natur scheint es sich zum Gesetz gemacht zu haben, kein Wesen in seiner grösten Vollkommenheit hervor zu bringen, sondern nur den Keim zu immer höherer Entwicklung hin zu legen; das Ey des Ormusd, aus dem die

Magier die Welt sich entwickeln ließen, ist eine philosophischere Idee als die Durchlöchrung desselben durch Ahriman; und der Gärtner hat mehr Freude an dem Baum den er aus dem Samen gezogen hat, als den er halb erwachsen einpflanzte. Das Insekt, der Mensch, das Menschen-Geschlecht, die Natur jedes Weltkörpers, ganze Sonnen-Systeme vielleicht, müssen viele Revolutionen durchgehn, ehr sie den höchsten Grad der Bildung erhalten, deren sie fähig sind. Der jährliche Wachsthum unsrer Felder, und die Fortpflanzung der Thiere beweist, daß die schaffenden Kräfte der Natur nicht erschöpft und noch immer thätig sind. Einmal durch den Wink des Urhebers der Natur in Thätigkeit gesetzt, kann nichts ihre Wirkung hemmen: es ist ein befruchtender Strom, durch den sich unaufhörlich neue Vollkommenheiten entwickeln, bis der höchste mögliche Grad der Bildung eine anscheinende Zerstörung, die Quelle einer noch größerer Vollkommenheiten fähigen Regeneration, nothwendig macht. So war das erste belebende Wort der Allmacht nicht die Schöpfung selbst, sondern der Anfang einer in Ewigkeit fort wirkenden Schöpfung, der erste Augenblick eines ewigen Kreislaufs, der sich jetzt so wenig erkennen läst, als der erste Punkt eines Kreises. In der ganzen Natur, so weit wir sie kennen, sind Verwelken und Aufblühen, Tod und Geburt, Wirkung und Ursache von einander: aus dem Grabe quillt die Auferstehung, aus der Fäulniß entspringen neue Saaten, aus vermoderten Leichen arbeitet sich neues Leben hervor, und der Wurm spinnt sich seinen Sarg, aus dem er einst schöner auferstehen wird.

Und der Wohllaut der großen Natur umrauscht dich vergebens?
Dich ergreift nicht der Strom dieser harmonischen Welt?
Nicht der begeisternde Takt, den alle Wesen dir schlagen?
Nicht der wirbelnde Tanz, der durch den ewigen Raum
Leuchtende Sonnen wälzt in künstlich schlängelnden Bahnen?

Ende des dritten und letzten Theils.

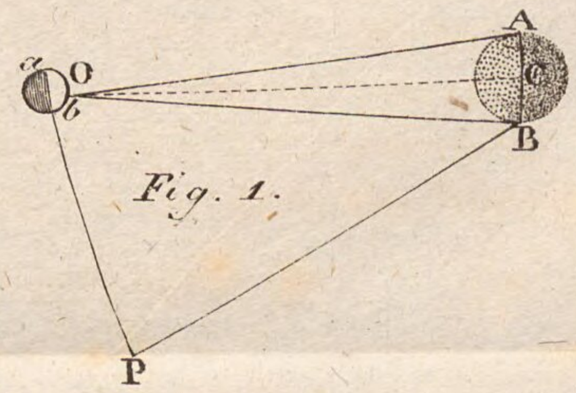
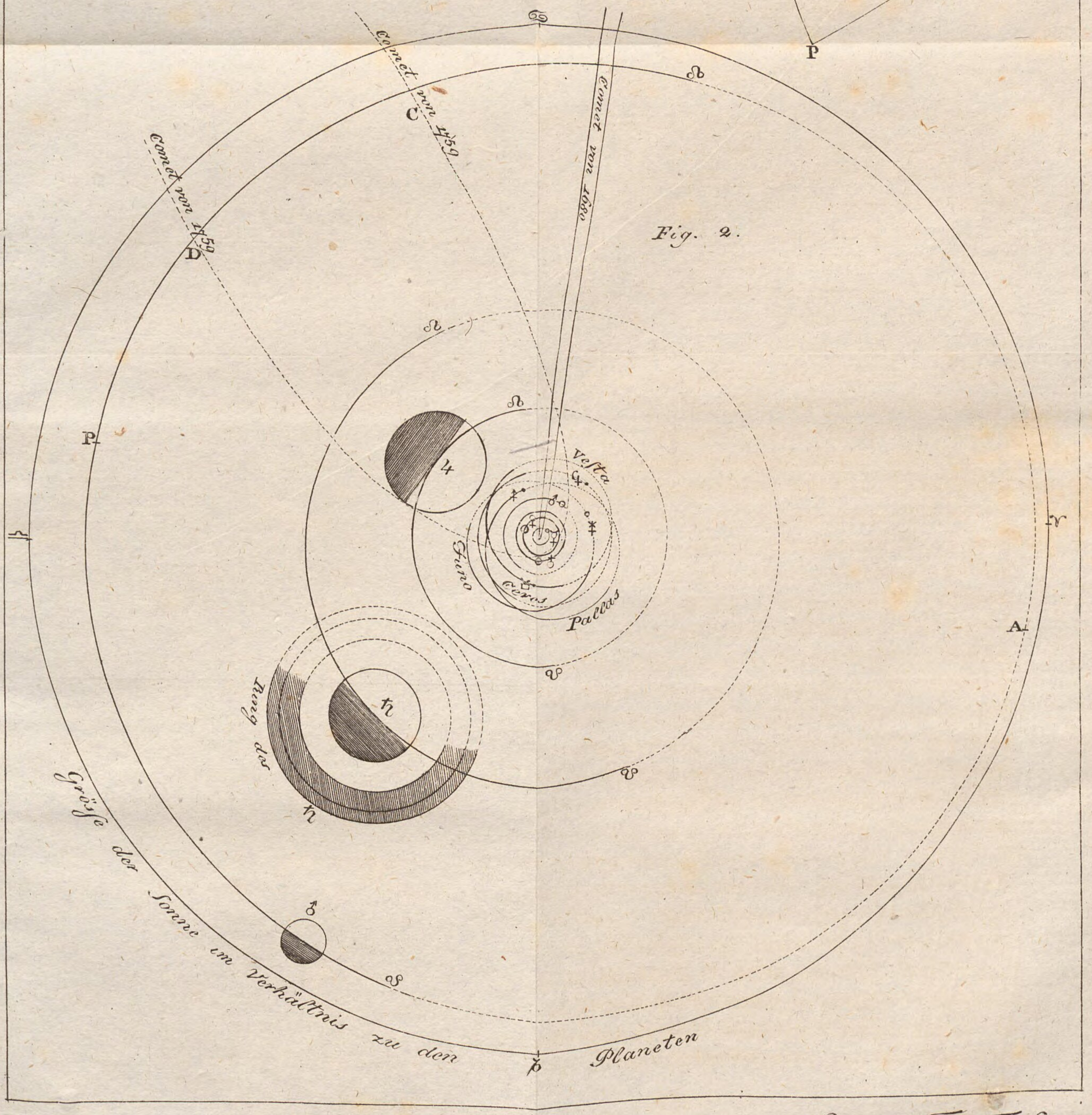


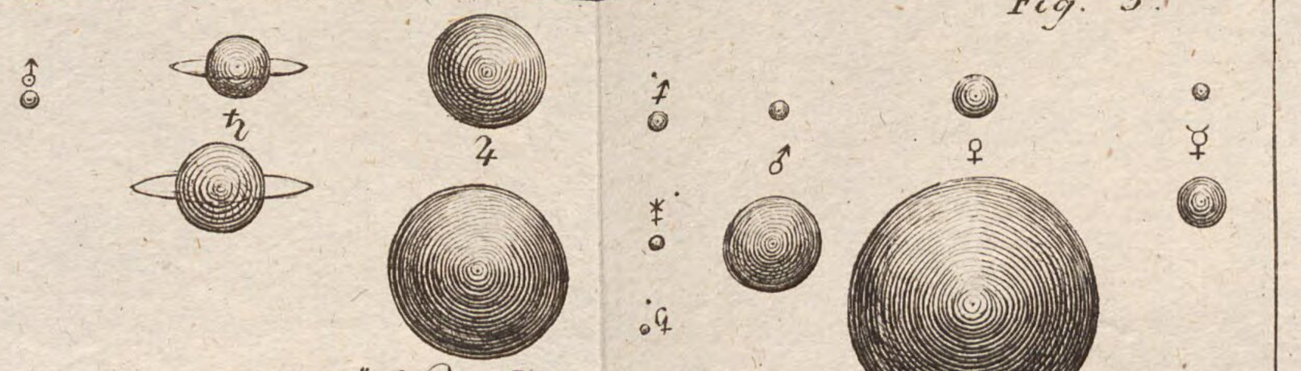
Fig. 1.

Fig. 2.



Schuberts Pop. Astr. III. Th. Taf. I.

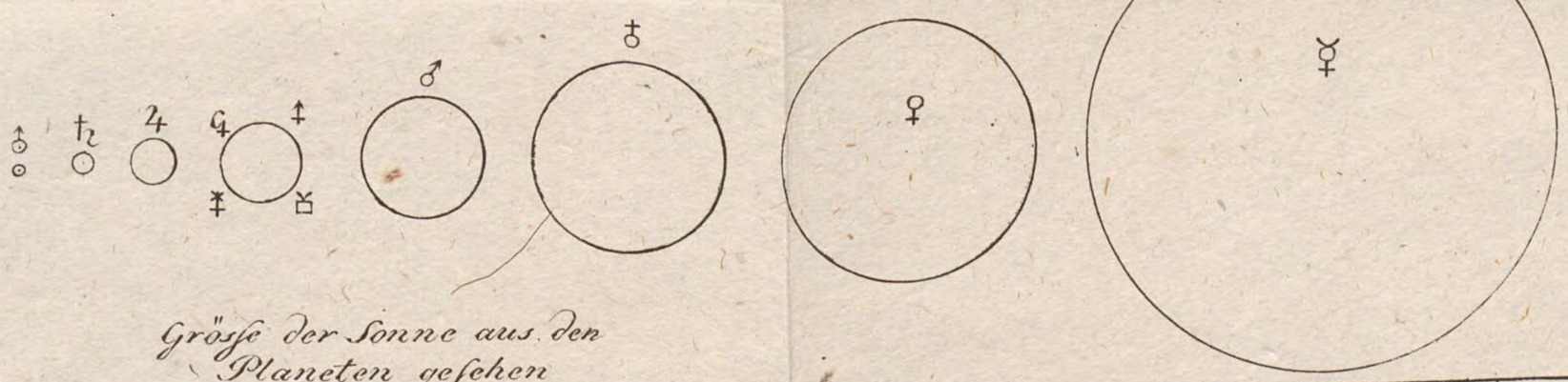
Fig. 3.



Grösse der Planeten aus der Erde gesehen.

A B

Fig. 4.



Grösse der Sonne aus den Planeten gesehen

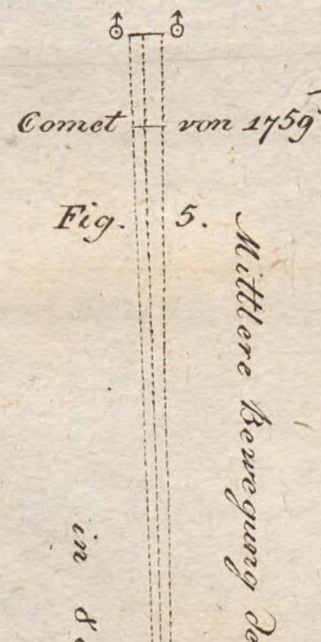


Fig. 5.

Mittlere Bewegung der Planeten um die Sonne in 24 Stunden.

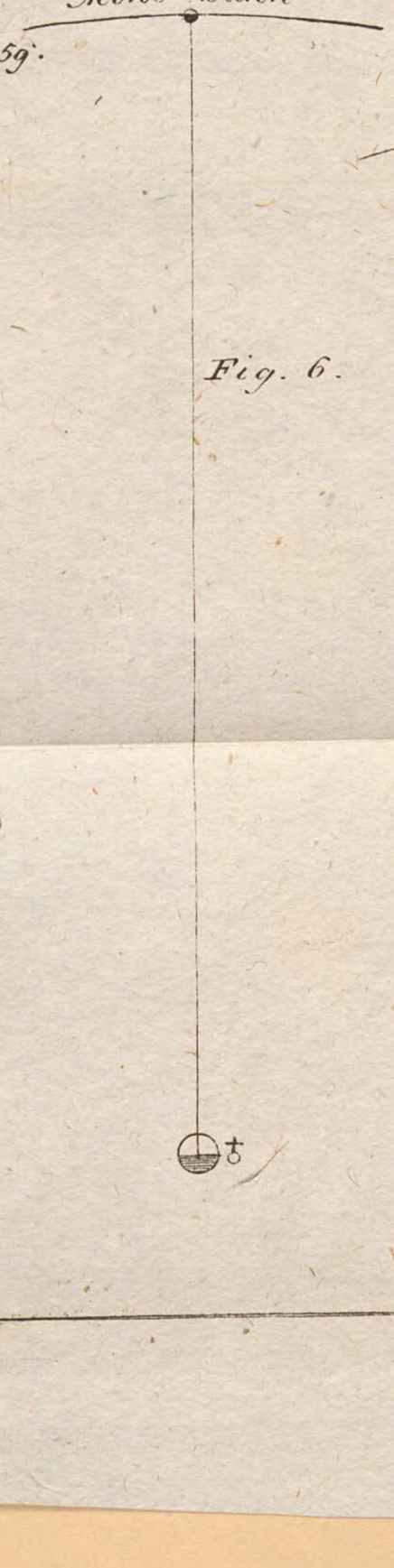


Fig. 6.

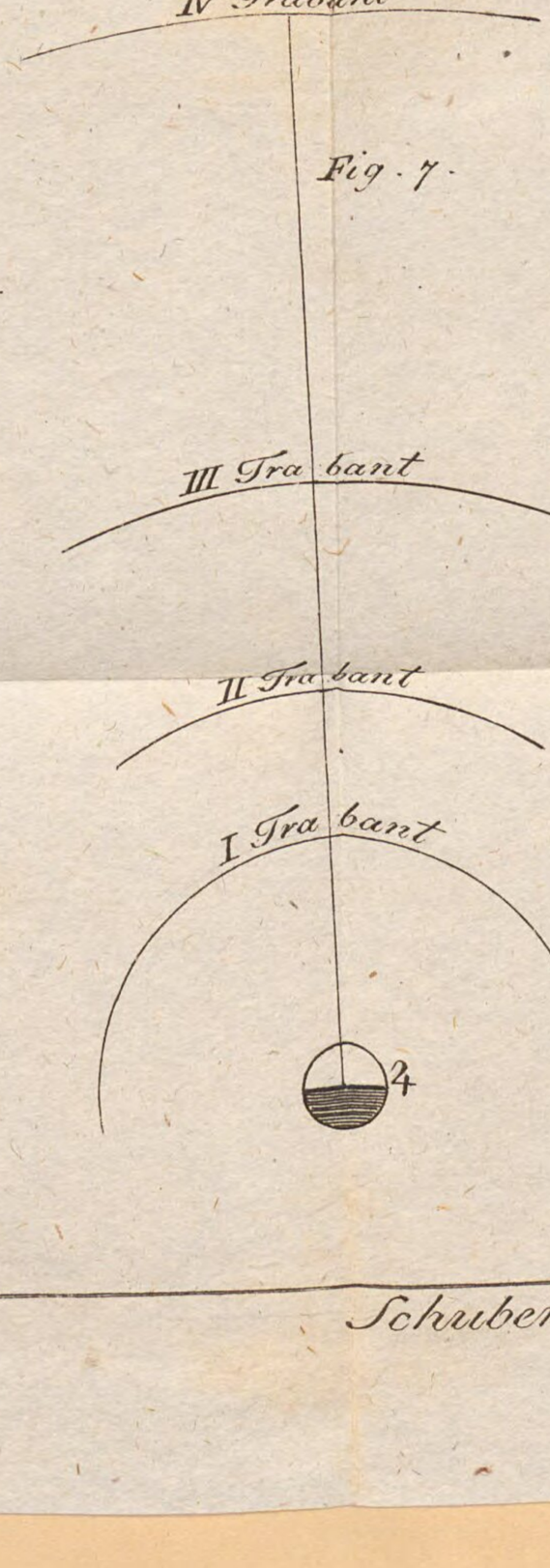


Fig. 7.

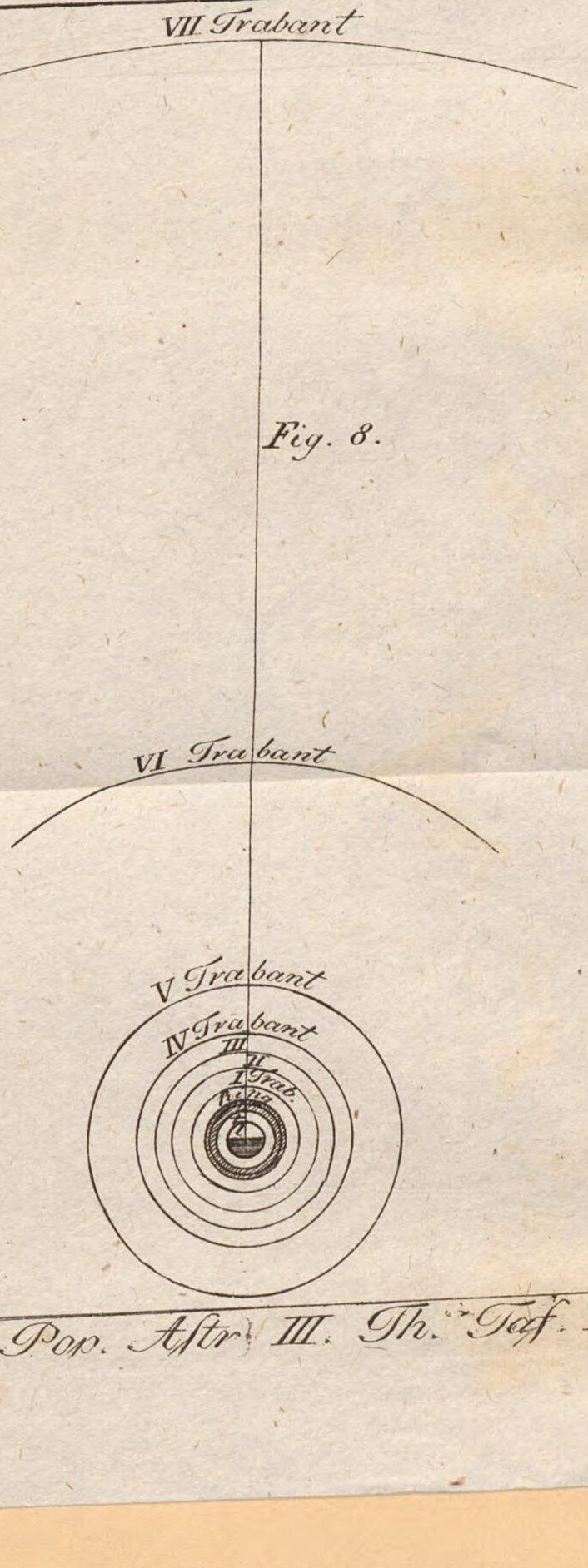


Fig. 8.

Schuberts Pop. Astr. III. Th. Tef. II.

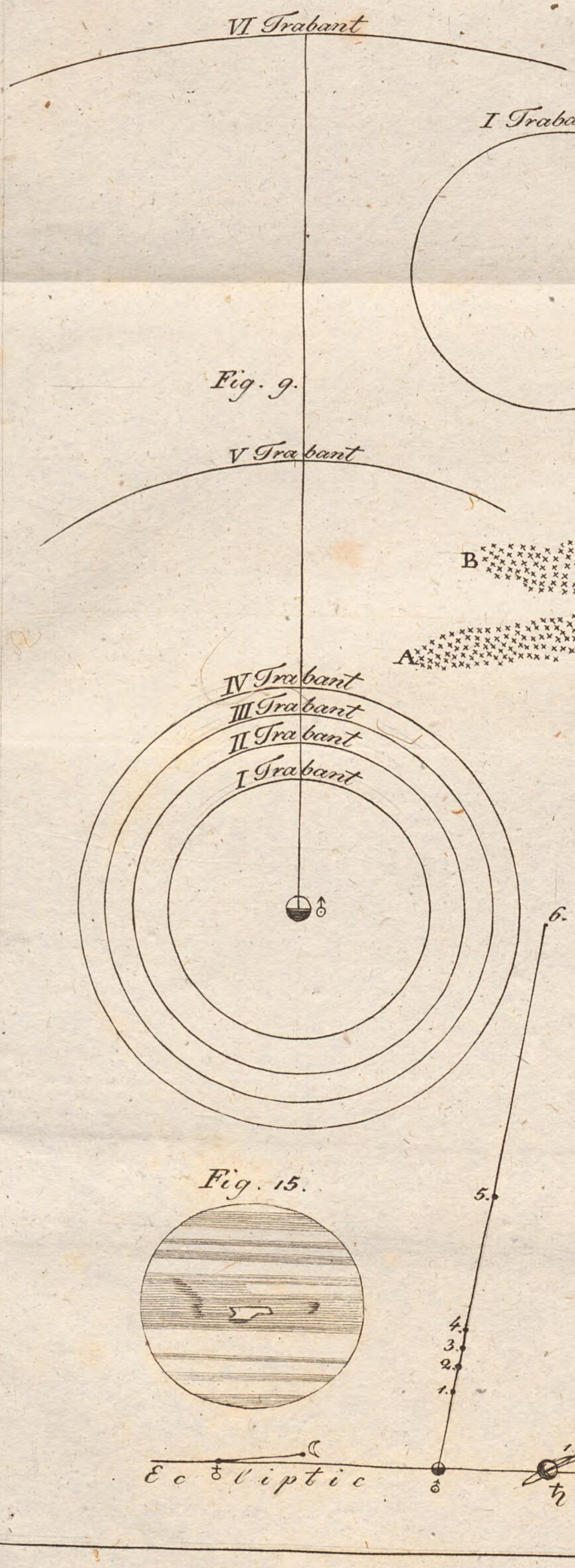


Fig. 9.

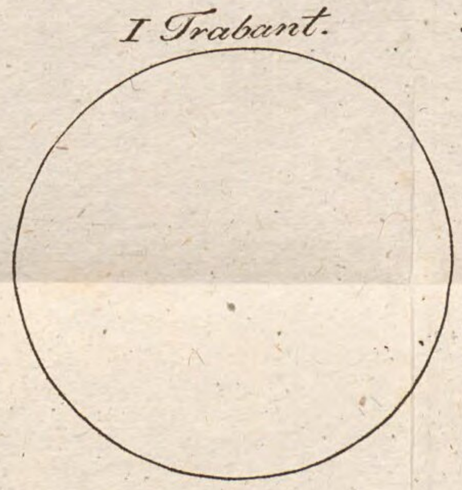


Fig. 11.
Scheinbare Grösse vom Jupiter gesehen.

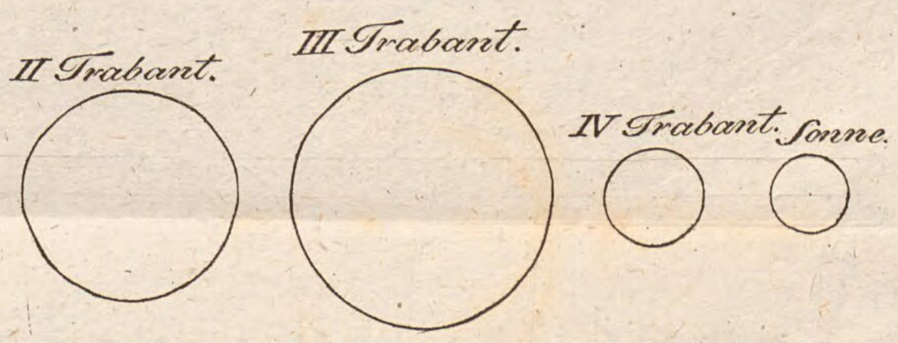


Fig. 12.

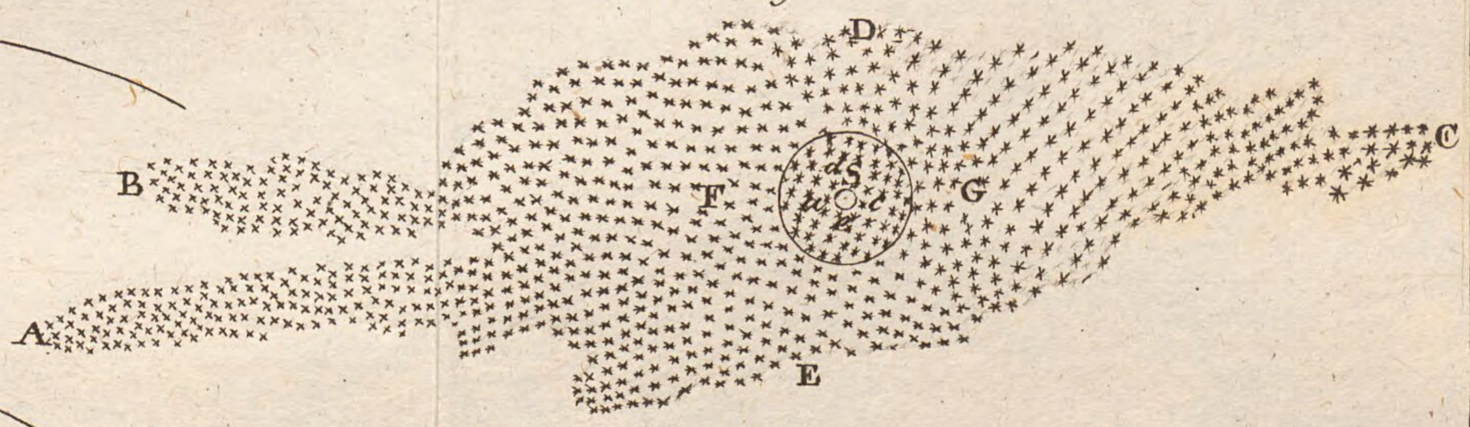


Fig. 13.

Fig. 16.

Fig. 17.

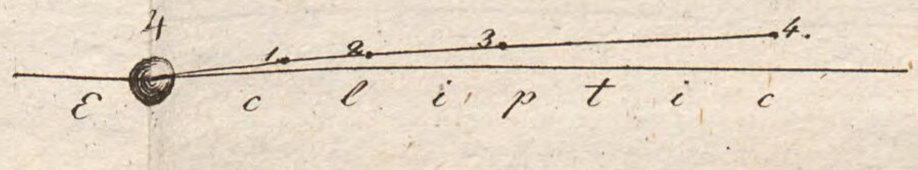
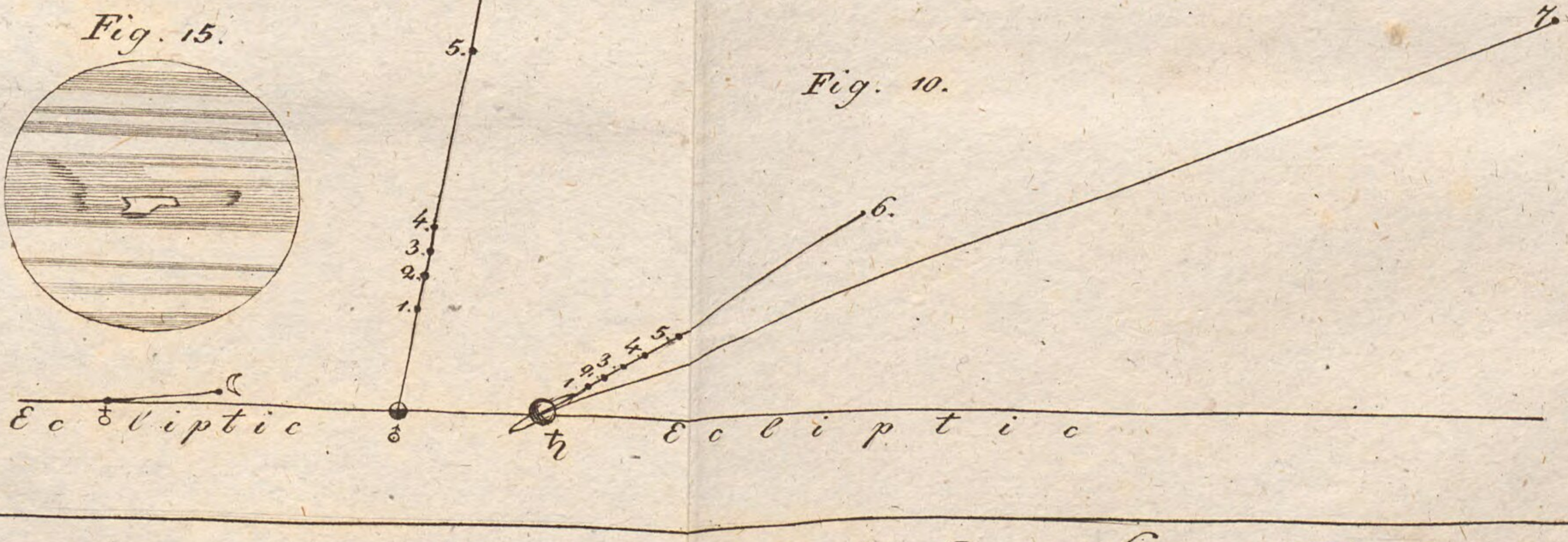


Fig. 15.



Schuberts Pop. Astr. III. Th. Taf. III.

C

Fig. 14.

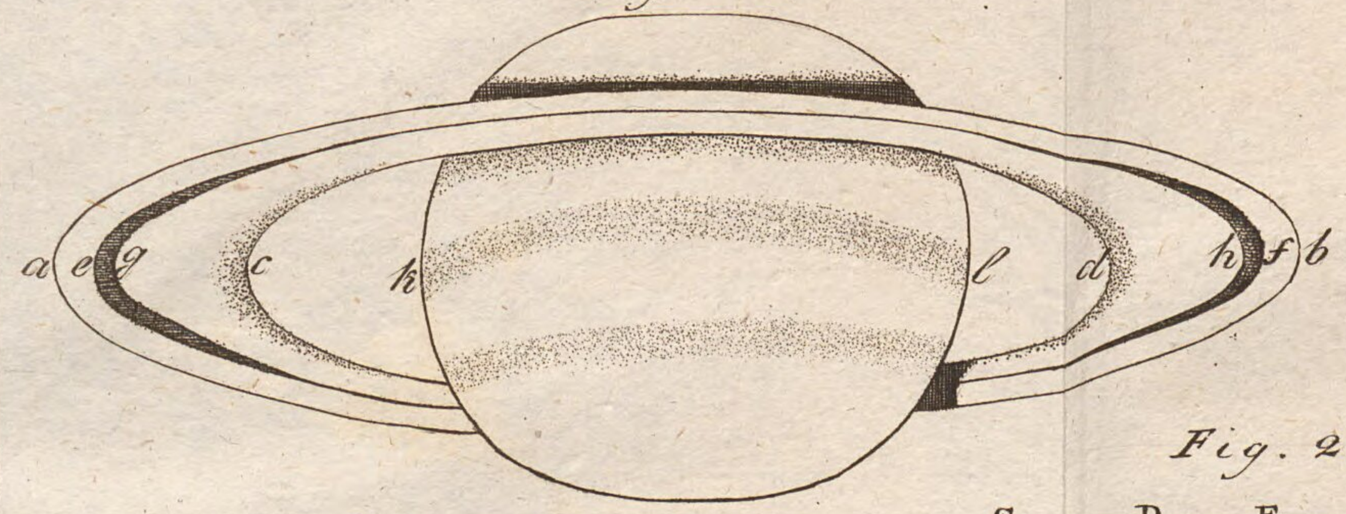


Fig. 18.

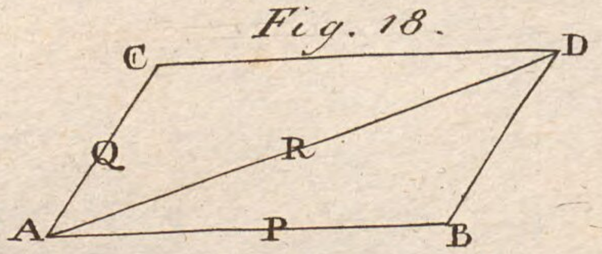


Fig. 19.

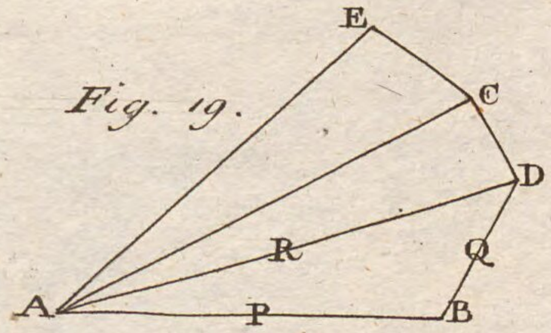


Fig. 20.

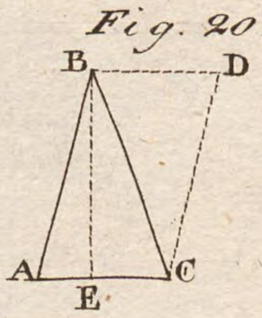


Fig. 21.

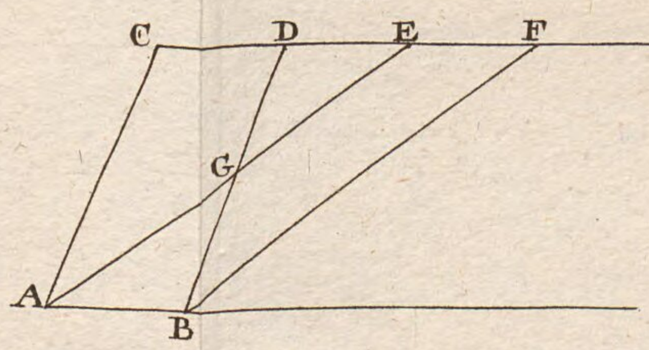


Fig. 22.

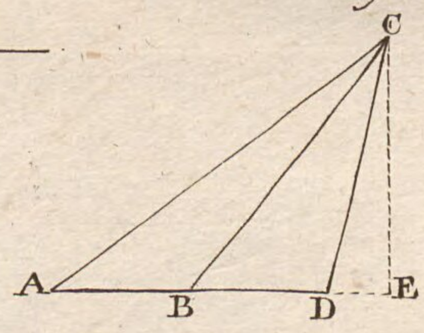
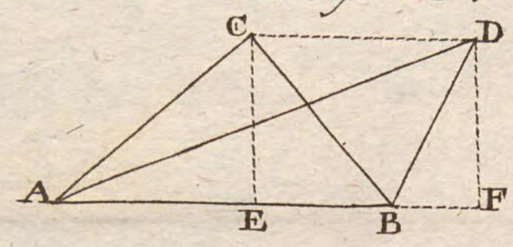
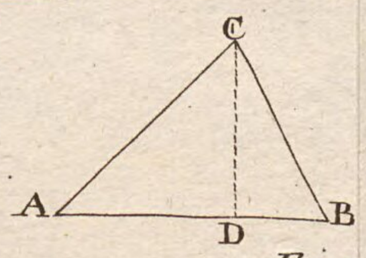


Fig. 23.





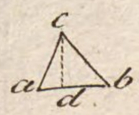
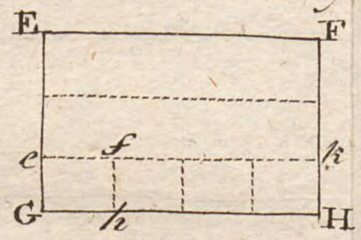


Fig. 24.



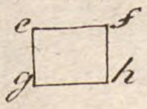


Fig. 25.

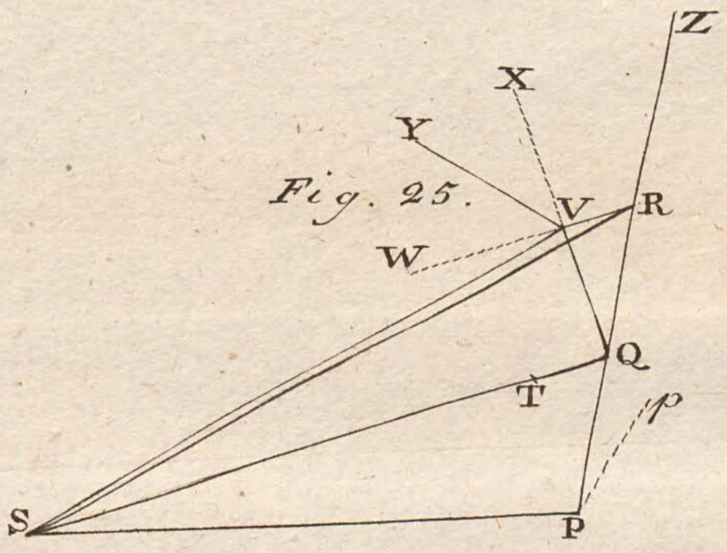


Fig. 26.

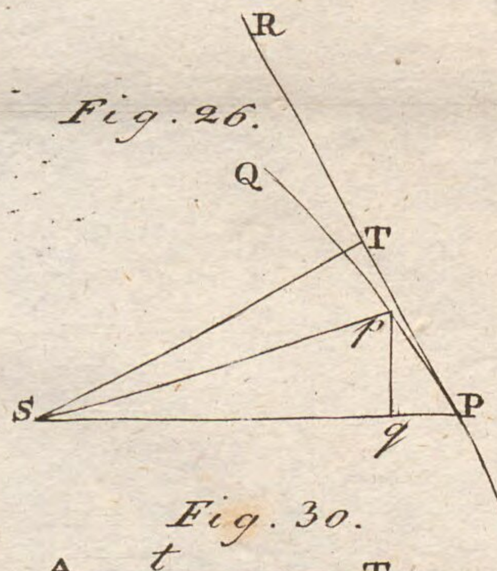


Fig. 27.

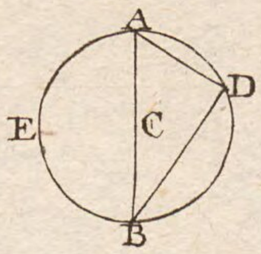


Fig. 28.

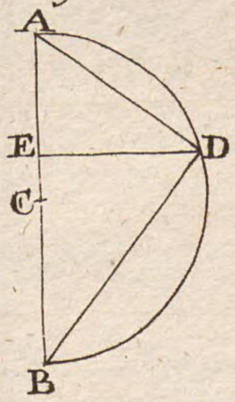


Fig. 29.

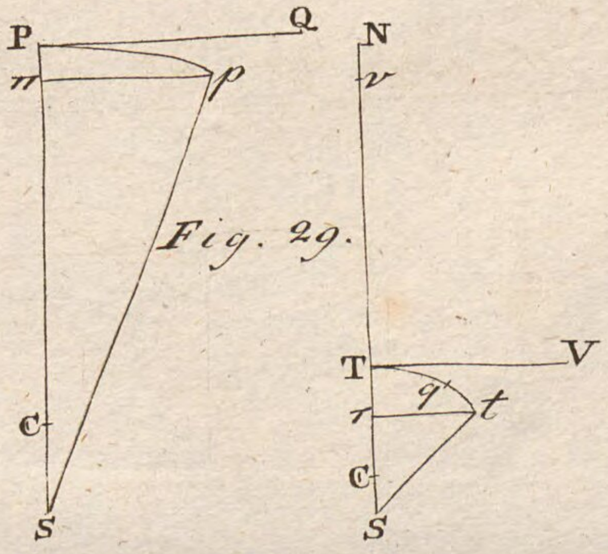


Fig. 30.

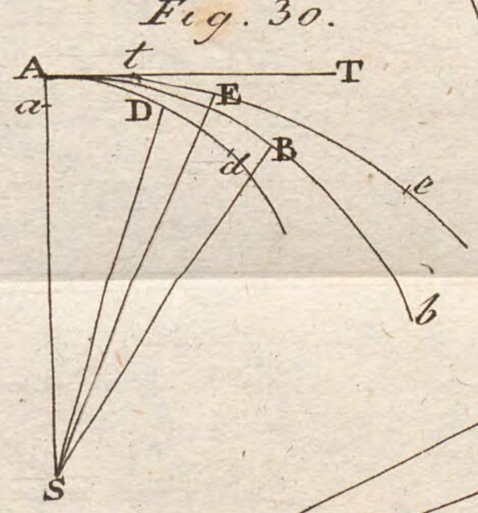


Fig. 31.

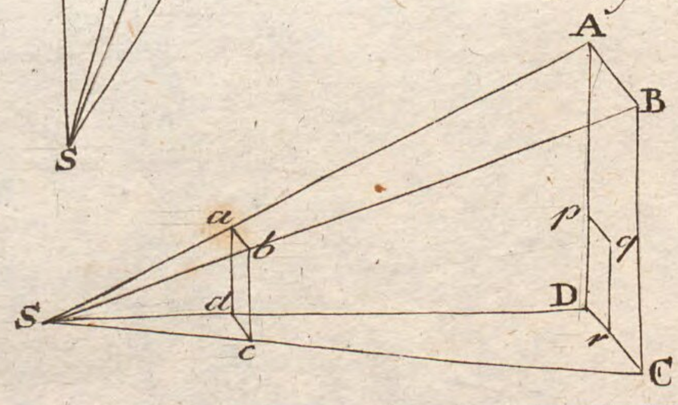


Fig. 32.

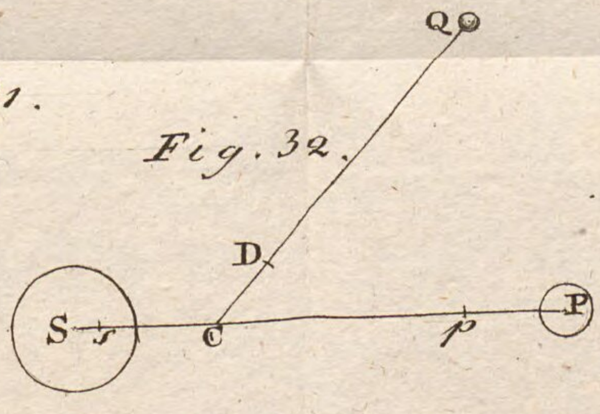
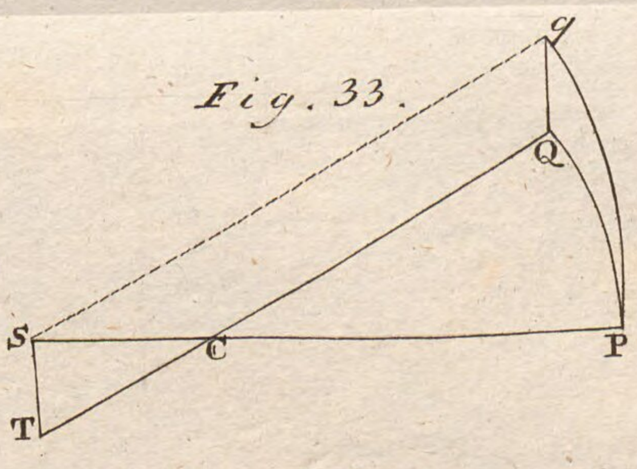


Fig. 33.



Schuberts. Pop. Astr. III. Th. Taf. IV.

Fig. 34.

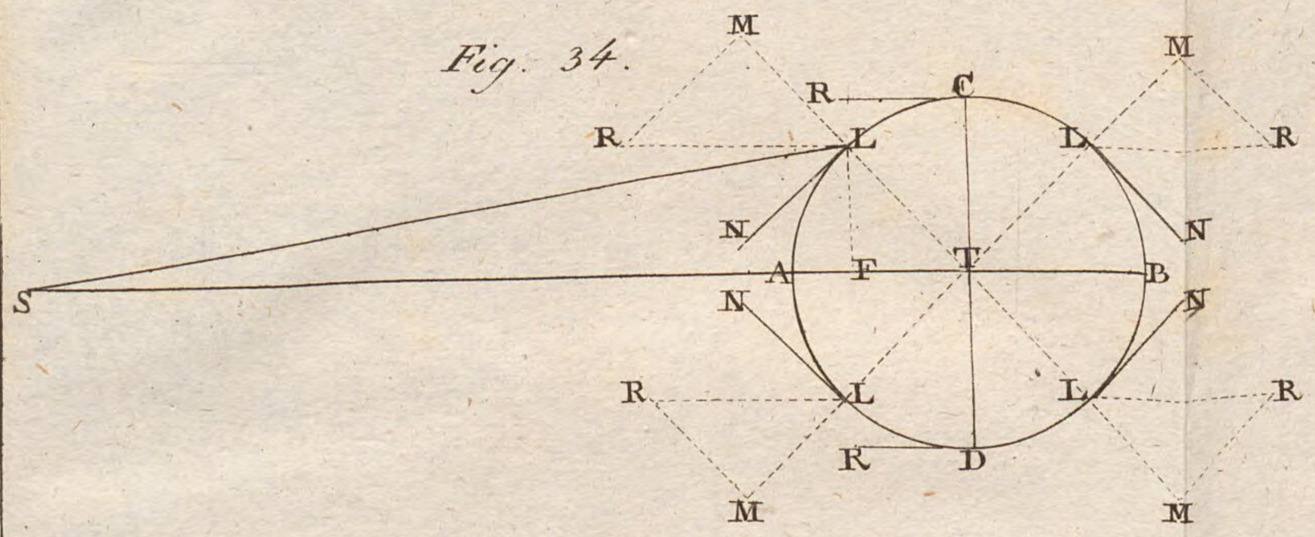


Fig. 35.

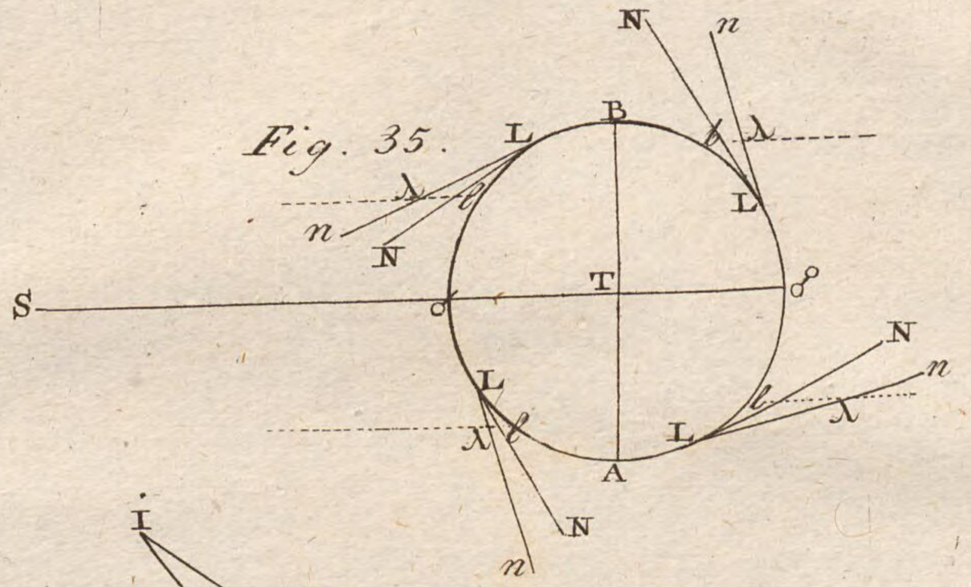


Fig. 36.

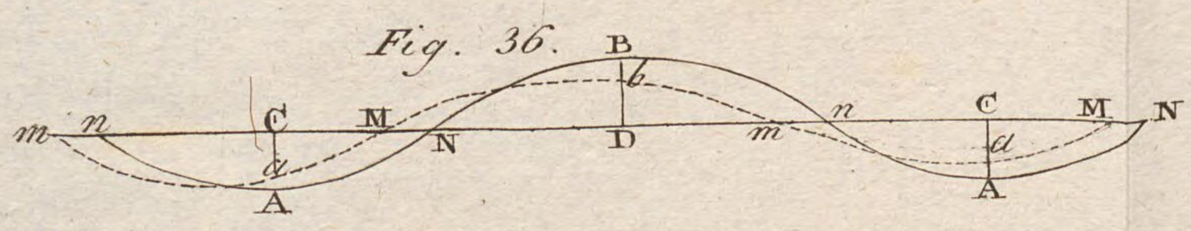
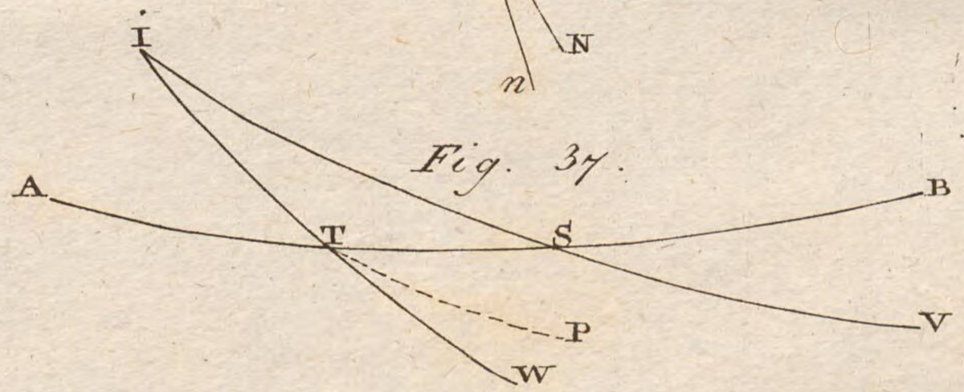
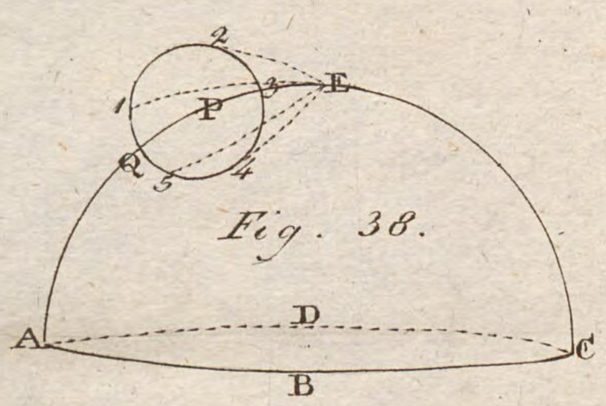
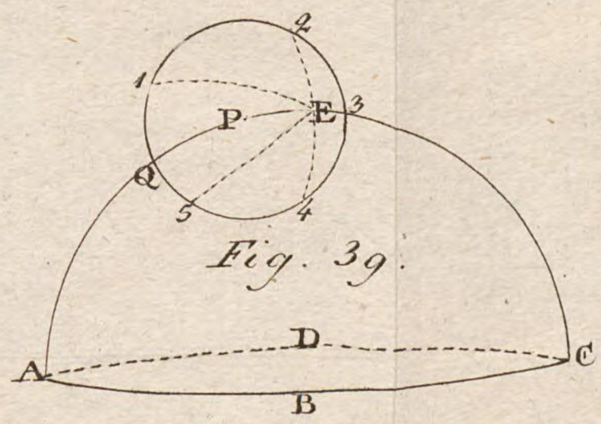
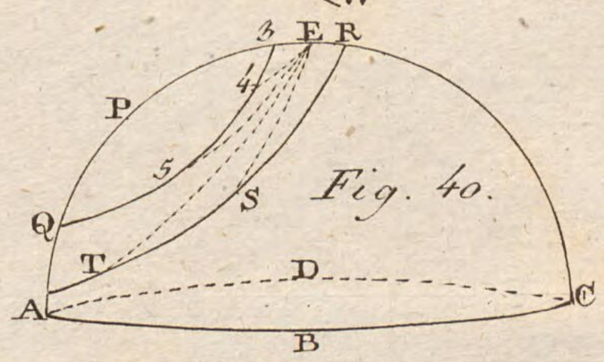


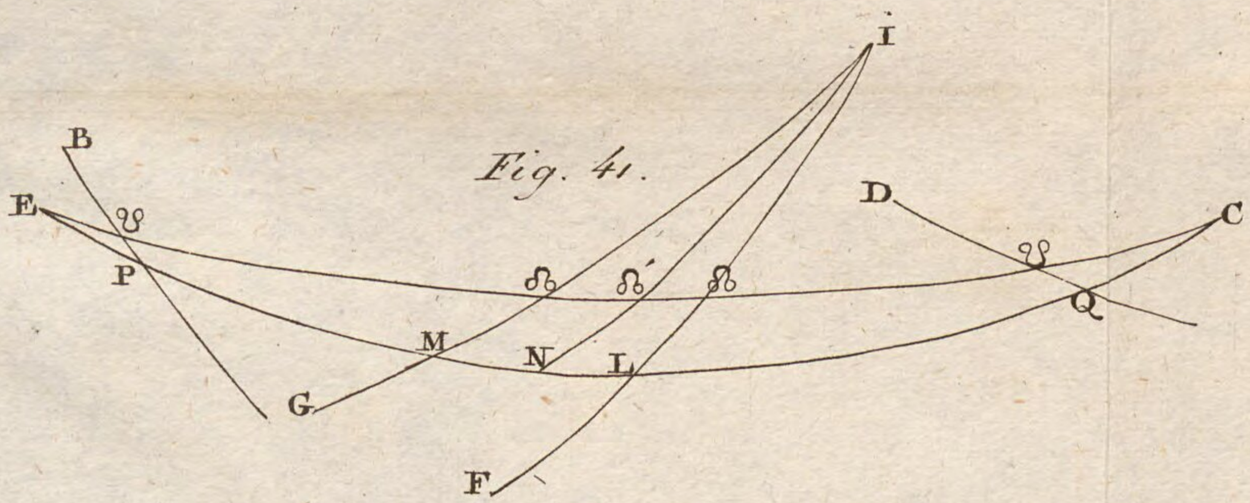
Fig. 37.

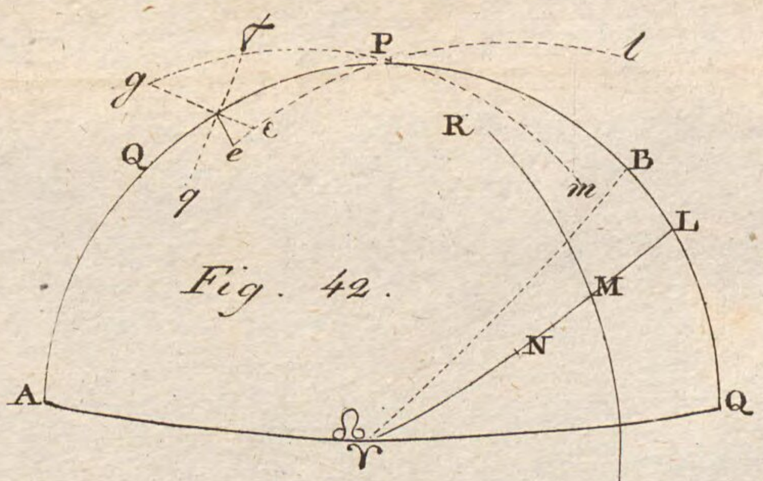


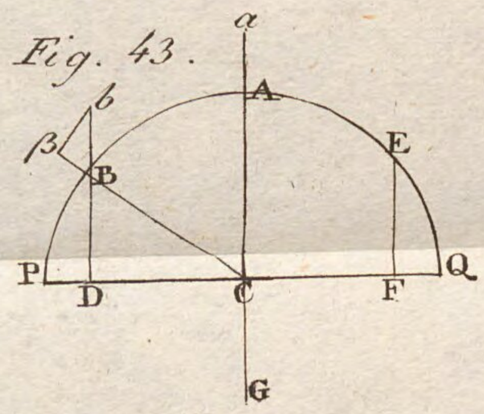


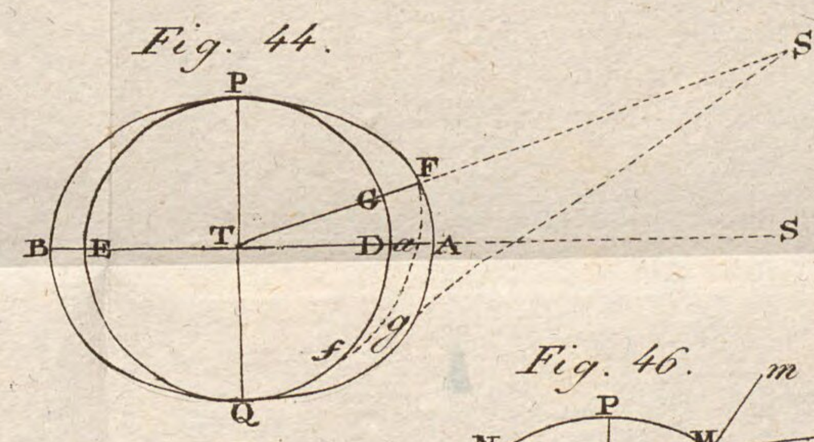


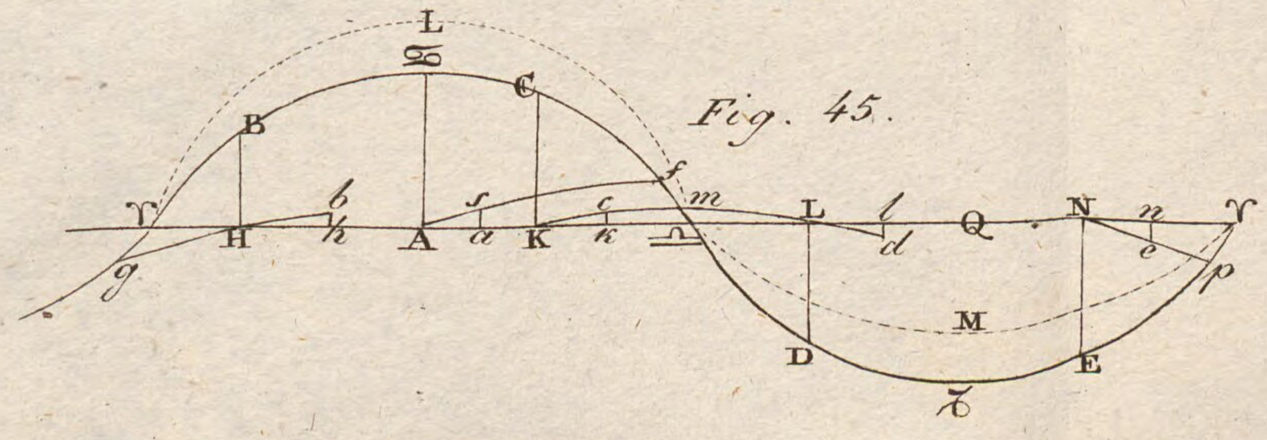


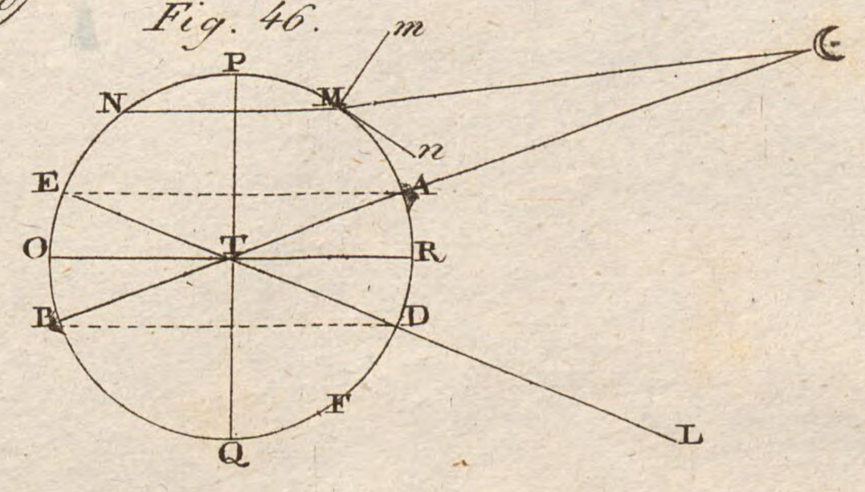












BSB Bayerische StaatsBibliothek
MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Schubert, Friedrich Theodor <<von>>,

Populäre Astronomie

Bd.: 3

St. Petersburg (1810)
Astr.u. 184-3
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10061138-7